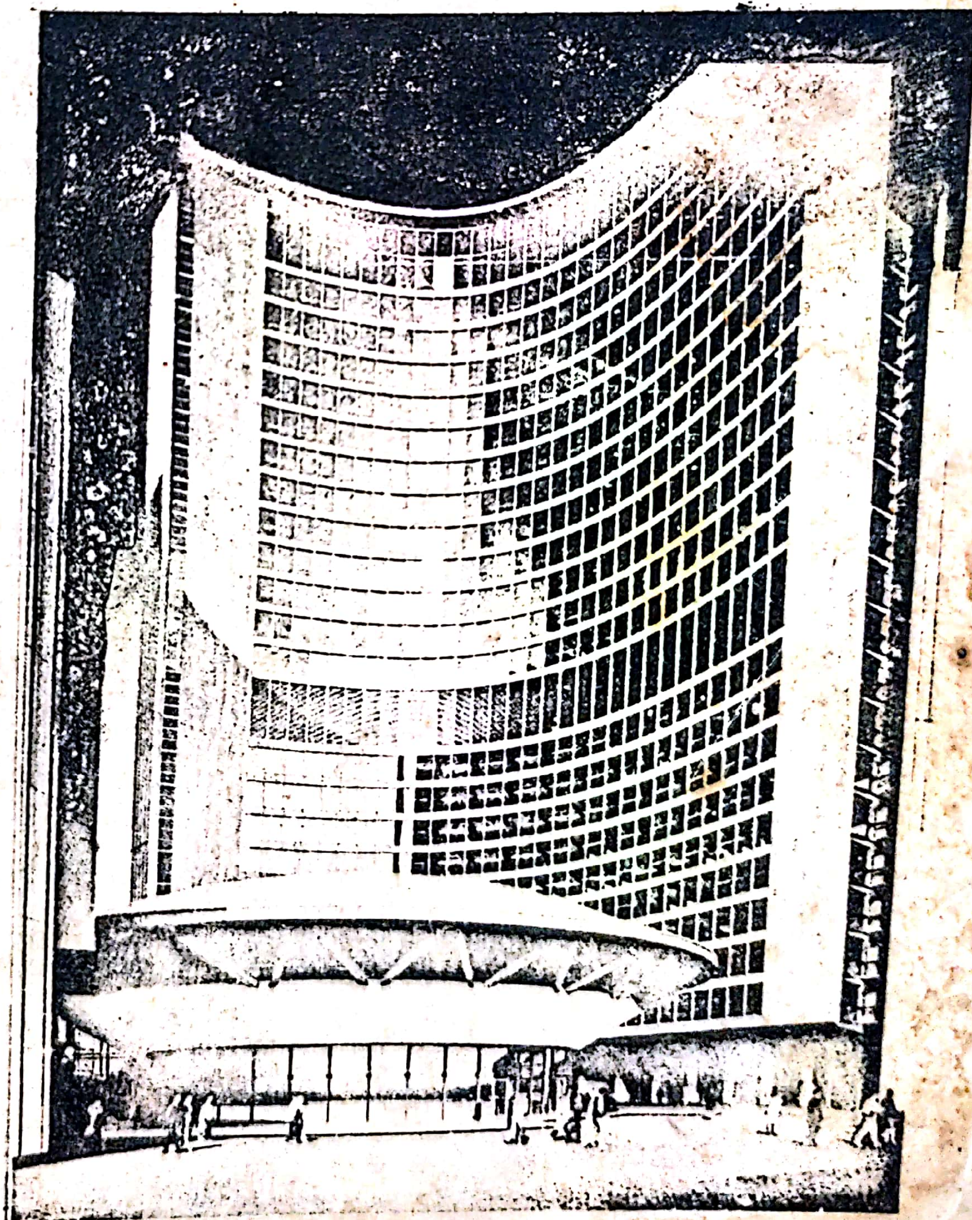
PROF. DR. ING. VIRGIL FOCȘA

higrotermica și acustica clădirilor



INSTITUTUL POLITEHNIC IAȘI
•
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

1970

INSTITUTUL POLITEHNIC IAȘI

FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Prof.Dr.Ing.Virgil Focșa

HIGROTERMICA
și
ACUSTICA CLADIRILOR

Ediția a II-a

Uz intern

- 1970 -

INTRODUCERE

Dezvoltarea construcţiilor în etapa actuală este caracterizată prin folosirea unor materiale de construcţie şi sisteme constructive noi, puse în operă prin metode industriale. Extinderea betonului monolit şi prefabricat la construcţii de clădiri, folosirea pe scară din ce în ce mai largă a materialelor uşoare, de natură minerală sau organică, în structuri de elemente în mai multe straturi, fac ca proprietăţile şi comportarea higrotermică a clădirilor să fie esenţiale pentru exploatarea normală a construcţiilor.

In acelaşi timp asistăm la creşterea considerabilă a nivelului zgomotului, ca efect al mecanizării, industrializării şi dotării clădirilor cu instalaţii şi aparatură de mare turaţie. Pe de o parte are loc creşterea zgomotului exterior, iar pe de altă parte noile structuri ale clădirilor, prin continuitatea şi masa redusă a elementelor de construcţii favorizează transmisia zgomotului în încăperi.

Cunoaşterea bazelor teoretice ale problemelor de higrotermică şi acustică şi aplicarea lor în practica construcţiilor este o cerinţă de mare actualitate pentru pregătirea profesională de larg orizont a viitorilor constructori.

Lucrarea de faţă cuprinzînd capitole ale cursului de

./.

Clădiri civile, predat la Secția de Construcții civile, industriale și agricole de la Facultatea de Construcții din Iași, dezvoltate în cadrul cursului facultativ Higrotermica și Acustica clădirilor, sintetizează aspectele teoretice și practice ale fizicii construcțiilor cu aplicații importante în proiectarea și exploatarea clădirilor.

Ediția a II-a a acestei lucrări este revăzută și adăugită cu aspecte și probleme noi privind comportarea termică a construcțiilor, bazele teoretice ale acusticii construcțiilor, principiile și măsurile de izolare acustică a clădirilor și orașelor.

In capitolul Higrotermica s-a introdus noțiunea de coeficient de transfer volumic a căldurii, s-au dezvoltat probleme termice în condiții de vară, la pereți, terase și ferestre, analizîndu-se comportarea termică a clădirilor în regim permanent și variabil. Acțiunea radiației solare este analizată din punct de vedere al confortului termic și al eforturilor din acțiunea temperaturii.

In capitolul Acustica s-a dezvoltat teoria cîmpului sonor, s-a introdus teoria ecranelor privind izolarea acustică la elementele de construcție la zgomotul aerian, capacitatea de izolare acustică a tîmplăriei și s-a completat cu aspecte noi privind acustica sălilor și structuri fonoabsorbante.

In noua formă lucrarea poate fi utilă nu numai studenților secției de Construcții civile și industriale, dar și absolvenților și doctoranzilor în specialitatea Clădiri civile.

Iași, martie 1970

Capitolul I

HIGROTERMICA

A. Cerinţele fiziologice ale omului şi confortul termic la clădiri.

Prin destinaţia lor clădirile de locuit şi social-culturale trebuie să satisfacă cerinţele de viaţă ale omului şi în special protecţia contra agenţilor climatici: vînt, ploaie, zăpadă, radiaţia solară [2,11] . Cele mai importante condiţii fiziologice ale clădirilor după Dr.Daniel Bianconi, sînt legate de dualismul zilnic al vieţii omeneşti: catabolism-anabolism.

Activitatea generală a omului constă dintr-o perioadă de activitate, urmată de o perioadă de odihnă-repaus.In perioada de activitate a omului are loc catabolismul, care se caracterizează prin consumarea rezervelor de energie, iar organismul omenesc acumulează substanţe vătămătoare care produc tulburări ce pot fi micşorate prin asigurarea corespunzătoare a mediului de lucru.Aceste cerinţe determină condiţiile fiziologice în clădirile de producţie, în clădirile social-culturale, administrative, etc.

In perioada de repaus-odihnă are loc fenomenul de anabolism ce se caracterizează prin aceea că oraganismul elimină

substanțele nefolositoare acumulînd energie potențială. Procesul de anabolism este influențat de catabolism și de condițiile de mediu care sînt determinate de caracteristicile higrotermice ale elementelor de construcție și de condițiile de climat interior și exterior.

La asigurarea condițiilor de mediu pentru desfășurarea activității de producție sau pentru odihna omului, se au în vedere cerințele de confort determinate în primul rînd de ansamblul condițiilor de temperatură și umiditate care caracterizează climatul interior al încăperilor.

După Liese confortul este „ expresia armonică dintre om și mediul înconjurător, dintre om și clima înconjurătoare". Premiza biofizică a senzației de confort rezidă în realizarea ecuației de echilibru: „ Suma căldurii produsă de corp și a căldurii introdusă din afară să fie egală cu suma căldurii cedată de corp și a căldurii consumată intern".

In graficul din fig. 1 este indicat criteriul de confort după Bedford și Liese, avînd în vedere temperatura aerului (d), temperatura aerului interior (e) și temperatura suprafeței interioare a peretelui exterior (a). Valoarea medie a temperaturii aerului interior poate fi cuprinsă în funcție de temperatura aerului exterior și temperatura peretelui, între 17 și 24°C. In prescripțiile din țara noastră se recomandă de exemplu, ca în general temperatura aerului interior, la clădirile civile, să prezinte valorile limită 20± (1,5... 3)°C.

Trebuie avut în vedere faptul că omul nu dorește contraste de temperatură care influențează negativ sănătatea, chiar în cazul cînd variațiile climatului nu afectează domeniul senzațiilor perceptibile.

Asigurarea sănătății, definită de organizația mondială a sănătății ca stare de senzație de bună stare tota. trupeas-

că, spirituală şi socială, capătă o semnificaţie deosebit de importantă în condiţiile socialismului şi se reflectă în grija permanentă faţă de om şi de cerinţele sale prin proiectarea judicioasă a clădirilor şi construcţiilor din punct de vedere higrotermic.

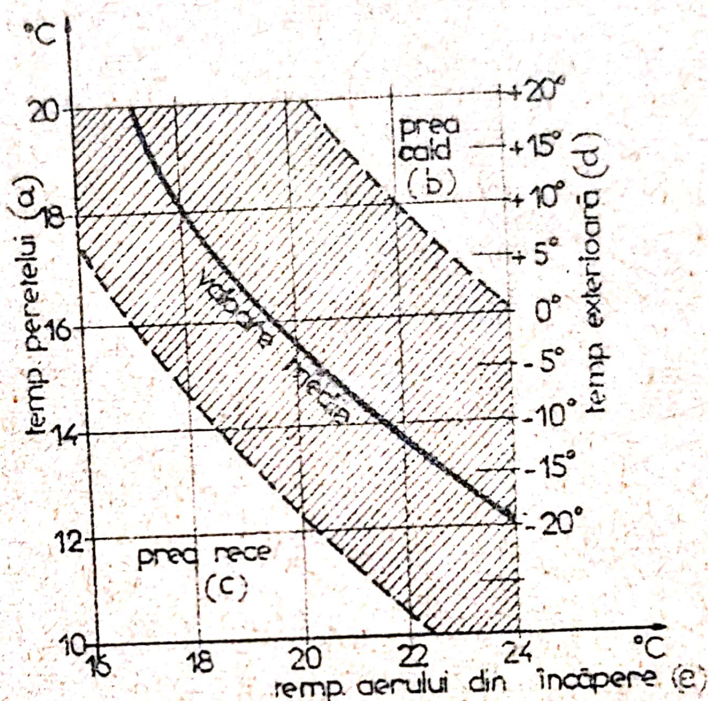


Fig.1. Criteriul de confort după BEDFORD şi LIESE

a) = temperatura peretelui;

b) = prea cald;

c) = prea rece;

d) = temp.ext. la o temperatură a camerei de 20° C;

e) = temp.aerului din încăpere.

In cadrul capitolului de Higrotermică se vor studia bazele fizice ale izolării termice, a umidităţii în construcţii şi a permeabilităţii la aer a construcţiilor, probleme de o deosebită actualitate la proiectarea, executarea şi exploatarea clădirilor cu noi materiale şi sisteme constructive.

B. Transmisia căldurii.

1. Generalități.

Determinarea caracteristicilor higrotermice a elementelor de construcție și studiul termic a construcțiilor are la bază schimbul de căldură între elemente de temperaturi diferite, între clădiri și mediul înconjurător. Prin noțiunea de temperatură se apreciază starea de încălzire a corpurilor. In orice mediu, temperatura într-un punct, la un moment dat T, are o valoare unică și bine definită. Temperatura este un parametru scalar de stare, depinzînd de T, putîndu-se exprima în forma implicită $t = f(x,y,z,T)$ sau vectorial $\bar{t} = f(\bar{r},T)$ în care, $\bar{r} = x.\bar{i} + y.\bar{j} + z\bar{k}$ reprezintă vectorul de poziție al punctului considerat.

Totalitatea punctelor de aceeași temperatură a unui corp, la un moment dat, definește suprafața izotermă de temperatură t. Dacă temperatura corpului t nu variază cu timpul, $t(T) = const.$, suprafețele izoterme prezintă în orice moment valori constante și caracterizează regimul staționar de temperatură. In acest caz fluxul termic este constant și cîmpul termic ce caracterizează valoarea temperaturii în corp este constant. In realitate, datorită variației de temperatură a mediului înconjurător are loc și variația temperaturii elementelor de construcție și a construcțiilor în general. Luarea în considerare a variației temperaturii în timp caracterizează regimul termic nestaționar sau variabil.

Structurile clasice de pereți și acoperișuri, caracterizate prin masă mare și alcătuire omogenă, au permis studiul termic pe baza ipotezei regimului staționar. Folosirea materialelor de masă redusă la noile structuri, adoptarea unei alcătuiri neomogene a elementelor de construcție, face actuală și

ipoteza regimului nestaționar de temperatură. La structurile omogene sau alcătuite din mai multe straturi paralele luarea în considerare a transmisiei termice după o direcție este cuprinzătoare. La structurile neomogene, cum este cazul pereților din beton armat cu mai multe straturi și legături sau punți transversale este necesar a se lua în considerare transmisia plană a căldurii.

1.1. Modurile de transmisie a căldurii.

In construcții, ca și în natură în general, transmisia căldurii are loc prin conducție, convecție și radiație [2, 3,12].

Transmisia căldurii prin conducție este proprie în special corpului solid, are loc prin pereți, terase, tîmplărie și constă din transmisia energiei cinetice a moleculelor ce vibrează în jurul poziției lor de echilibru.

Transmisia termică prin convecție are loc în special la lichide și gaze și se datorește transportului de căldură prin mișcarea moleculelor fluidelor. Fenomenul intervine în construcții între suprafețele elementelor de construcție la interior sau exterior și aerul sau lichidul înconjurător.

Transmisia energiei termice prin radiație are loc sub formă de unde electromagnetice, cu lungimile de undă $\lambda = (0,4 ... 400)\ \mu$. Fenomenul de radiație intervine în special la diferențe mari de temperatură între corpuri sau între corpuri și fluide, cum este cazul elementelor de încălzire prin radiație.

In ce privește elementele de construcție, ținînd seama de influența porozității, transmisia căldurii prin structura solidă are loc în special prin conducție și în mai mică măsură prin convecție. Intre elementele de construcție și aerul

înconjurător transmisia căldurii are loc în primul rînd prin convecţie, ce poate fi naturală sau forţată şi în mai mică măsură prin radiaţie. Cantitativ, transmisia căldurii între elementele de construcţie şi mediul înconjurător se ia în considerare printr-un coeficient unic ce exprimă cumulativ fenomenele de convecţie şi radiaţie.

1.1.1. Transmisia căldurii prin conducţie. Coeficientul de conductivitate termică a materialelor de construcţie.

La structuri omogene, în cazul transmisiei termice prin conducţie în regim staţionar, fig.2, cantitatea totală de căldură transmisă se estimează cu relaţia:

$$Q=\lambda \cdot \frac{S(\tau_i-\tau_e)}{d} \cdot T \qquad (1)$$

în care:

- Q cantitatea totală de căldură transmisă, în Kcal sau J ;
- λ coeficientul de conductivitate termică al materialului, în Kcal/m.h.°C sau W/m.°C ;
- S suprafaţa elementului omogen de construcţie, în m^2 ;
- τ_i, τ_e, temperaturile suprafeţelor interioare şi respectiv exterioare ale elementului de construcţie, în °C;
- d, grosimea elementului de construcţie, în m ;
- T, timpul, în ore.

Dacă în relaţia (1) se consideră: S = 1 m^2; $\tau_i - \tau_e$ = 1°C ; d = 1m şi T = 1 h se obţine:

$$Q = \lambda \text{ Kcal/m.h.°C sau W/m.°C} \qquad (2)$$

Relaţiile permiţînd trecerea dela unităţi tradiţionale la unităţi SI sînt următoarele: 1J = 0,2389.10^{-3} Kcal;

1 Kcal = 4186 J ; 1 W = 0,860 Kcal/h ; 1 Kcal/h = 1,163 W

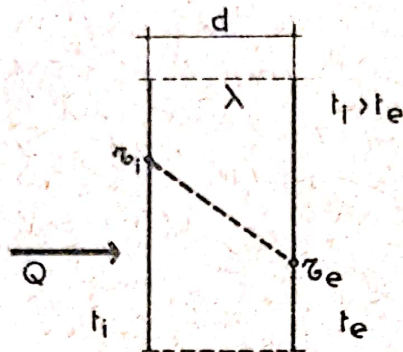


Fig.2. Transmisia căldurii prin conducție la element omogen de construcție.

Coeficientul de conductivitate termică λ exprimat în Kcal/m.h.°C, este o caracteristică termofizică a materialelor de construcție și reprezintă cantitatea de căldură ce trece de la o față la cealaltă față a unui element de construcție, printr-o suprafață de 1 m^2 , grosimea elementului fiind de 1 m, în timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două suprafețe de 1°C.

Pentru materiale cu porozitatea tinzînd spre zero, coeficientul λ prezintă valorile:

- materiale orga[illegible].....λ = 0,25...0,35 Kcal/m.h.°C;
- materiale anorganice..λ = 2,80 Kcal/m.h.°C;
- materiale cristaline..λ = 4,6...6,0 Kcal/m.h.°C;
- materiale de construcție.λ = 0,035..3,0 Kcal/m.h.°C
- aer....................λ = 0,02..Kcal/m.h.°C .
  (0,0234 W/m.°C);
- apă....................λ = 0,50...Kcal/m.h.°C .
  (0,57 W/m.°C).

In R.S.România se fabrică la Berceni materiale izolante termic de eficiență superioară sub formă de pîslă din vată minerală de lățime 0,60 m sau 1,20 m, grosimi δ = 1 - 10 cm, ρ = 50....60 Kg/m^3, λ = 0,034 Kcal/m.h.°C și fîșii din vată minerală de 3...5 m lungime, ρ =40..60 Kg/m^3 și λ = 0,033 Kcal/

/m.h.°C.

Valoarea coeficientului λ variază în general în limite foarte largi, de la 300 pînă la 0,03 Kcal/m.h.°C.

Valorile coeficientului de conductivitate termică depind de factorii menționați mai jos:

a) Densitatea unitară aparentă „ρ" și porozitatea „p" a materialului și anume crește cu densitatea și scade cu porozitatea, așa cum rezultă din figurile 3 și 4 pentru materiale anorganice și organice; conductivitatea termică crește cu diametrul porilor și temperatura așa cum rezultă din figura 5.

b) Structura fizică în cazul materialelor coezive și gradul de afînare și mărimea granulelor la materiale pulverulente.

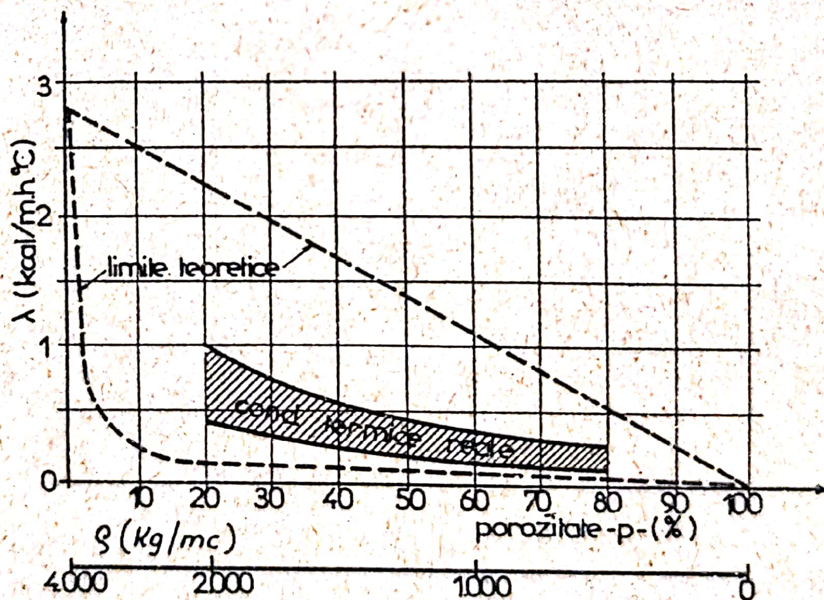


Fig.3. Variația conductivității termice, la materiale anorganice, în funcție de ρ și porozitate p %

c) Umiditatea ce caracterizează conținutul în apă al materialelor. Creșterea conductivității termice cu creșterea conținutului de apă se explică prin aceea că aerul din porii mate-

rialelor, cu λ_{aer} = 0,02 Kcal/m.h.°C, este înlocuit cu apă λ_a = 0,5 Kcal/m.h.°C, de 25 ori mai mare decît a aerului.

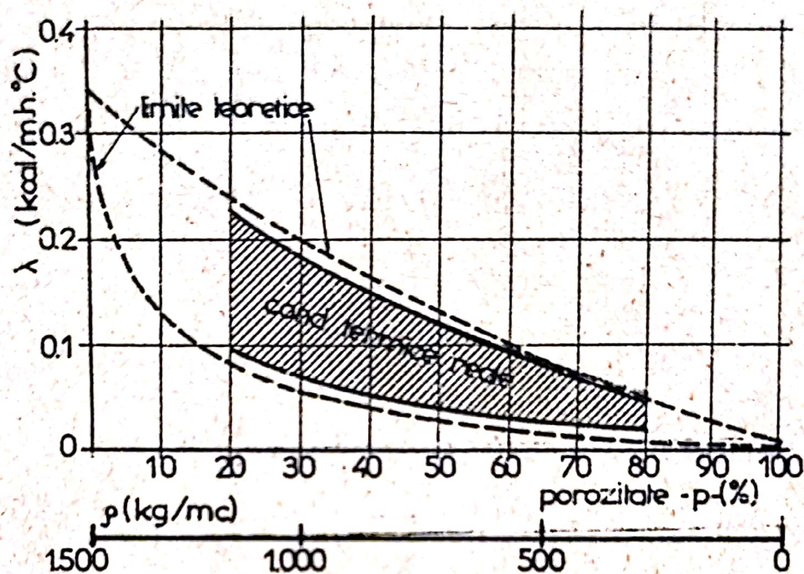


Fig.4. Variația conductivității termice, la materiale organice, în funcție de ρ și porozitate.

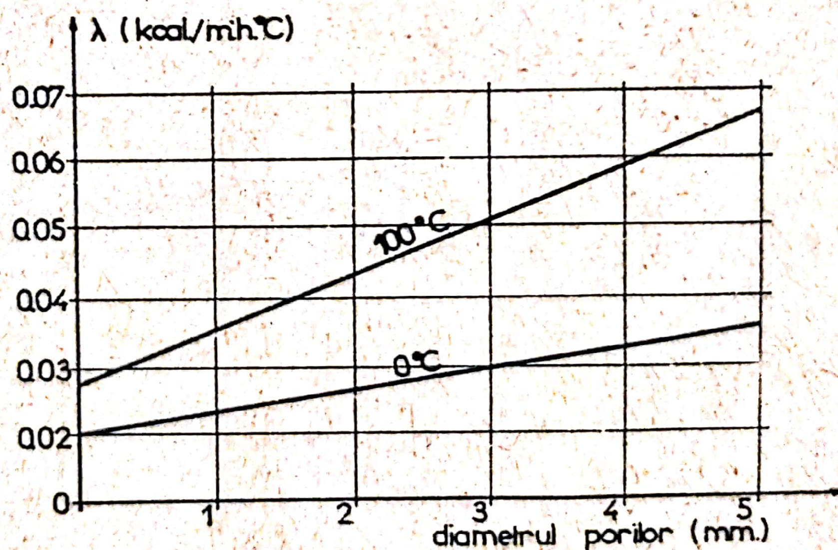


Fig.5. Variația conductivității termice a aerului în funcție de dimensiunile porilor materialelor și temperatură.

La calculul termic al elementelor de construcţie se ia în considerare coeficientul de conductivitate termică al materialelor în stare umedă, corespunzător umidităţii de echilibru ce se stabileşte în condiţiile de exploatare a clădirilor. Valoarea coeficientului de conductivitate termică în stare umedă se obţine folosindu-se relaţia:

$$\lambda_u = \lambda_o \left(1 + \frac{\eta \cdot \omega_v}{100}\right) \qquad (3)$$

în care:

- λ_u , coeficientul de conductivitate termică a materialului la umiditatea u %, în Kcal/m.h.°C ;

- λ_o , coeficientul de conductivitate termică a materialelor, în stare uscată, în Kcal/m.h.°C ;

- η , coeficient de creştere a conductivităţii termice pentru o creştere a umidităţii volumetrice cu un procent, avînd pentru diferite materiale, valorile prezentate în graficele din figura 6.

- ω_v, umiditatea materialului în condiţii de exploatare, în % (raportată la volum).

Pentru principalele materiale de construcţie creşterea conductivităţii termice, sub influenţa umidităţii normale de exploatare, prezintă valorile procentuale următoare:

- cărămidă plină 20 %;
- cărămidă poroasă sau cu găuri, blocuri cu găuri 30%;
- beton uşor, beton celular sau beton macroporos 45%.. ... 80 % ;
- beton cu structură compactă 55 % ;
- lemn 20 %;
- plăci din fibre vegetale şi minerale 10 %;
- tencuială interioară sau ipsos 11o %

In cazul cînd umiditatea materialului este raportată la greutate (ω_g), se va avea în vedere relația (4) între umiditatea volumetrică (ω_v) și densitatea unitară aparentă(ρ):

$$\omega_v = \frac{\omega_g \cdot \rho}{1000} \qquad (4)$$

d) Temperatura materialului conduce la creșterea conductivității termice ce se poate exprima printr-o relație liniară, stabilită de C.E. Vlasov, sub forma:

$$\lambda_t = \lambda_o \cdot (1+\beta t) \qquad (5)$$

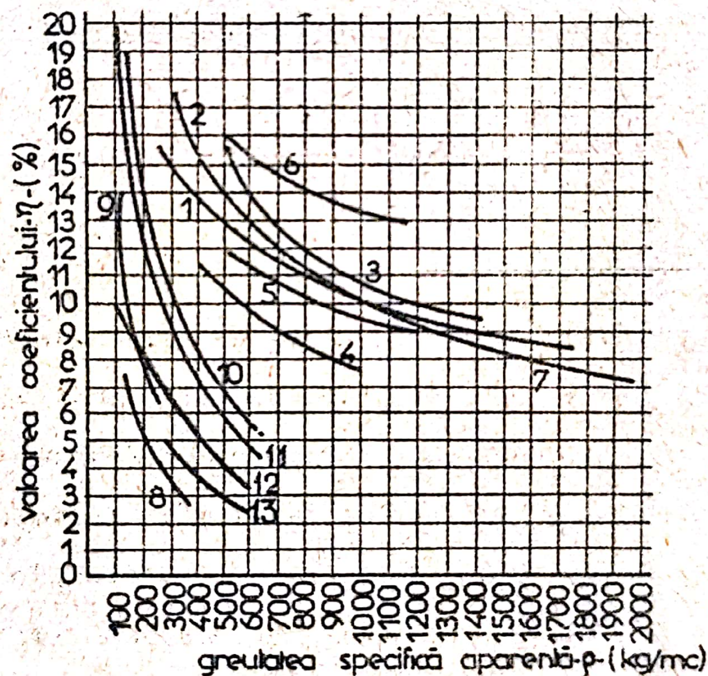


Fig.6. Variația coeficientului η de creștere a conductivității termice a materialelor de construcții cu fiecare procent de umiditate(raportat la volum) după B.N.Kaufman.

1. Cărămidă plină; 2. beton celular; 3. materiale ceramice poroase; 4. diatomit; 5. zgură; 6. granulit; 7. betoane; 8. materiale fibroase; 9. rumeguș; 10. fibrolit, stabilit; 11. plăci plută;

12. plăci fibrolemnoase.

în care:

- λ_o, conductivitatea termică a materialului la temperatura 0^oC, în $Kcal/m.h.^oC$;

- β, coeficient de proporţionalitate ce exprimă creşterea conductivităţii termice pentru 1^oC şi prezintă valoarea medie pentru materialele de construcţii 0,0025;

- t, temperatura medie de exploatare a elementului de construcţie.

Dacă se cunosc valorile conductivităţii termice la temperaturile t_1 şi t_2, coeficientul mediu de conductivitate termică se poate calcula cu expresia:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_{t_1} + \lambda_{t_2}}{2} \qquad (6)$$

In anexa I se prezintă valorile coeficientului de conductivitate termică λ_u pentru condiţii de climat normal pentru principalele materiale de construcţii.

Din punct de vedere al condiţiilor de climat interior care acţionează asupra elementelor de construcţii distingem încăperi uscate, normale şi umede, conform datelor din tabelul 1, pentru temperatura aerului de 20^oC.

Tabelul 1

Clasificarea climatului interior din punct de vedere al umidităţii.

Nr. crt.	Tipul de climat	Umiditatea relativă a aerului,%	Presiunea vaporilor de apă, în torr
1.	uscat	sub 50	8,0
2.	normal	între 50 şi 60	8,0....10,0
3.	umed	peste 60, până la 75	10,0....12,5

Pentru clădirile cu regim de umiditate ridicată, amplasate în regiuni cu climă normală şi în cazul construcţiilor cu regim de umiditate normală situate în regiuni cu climă umedă, valorile conductivităţii termice din anexa 1 se majorează la materiale de rezistenţă cu 10 % şi la materiale termoizolatoare cu 30 %.

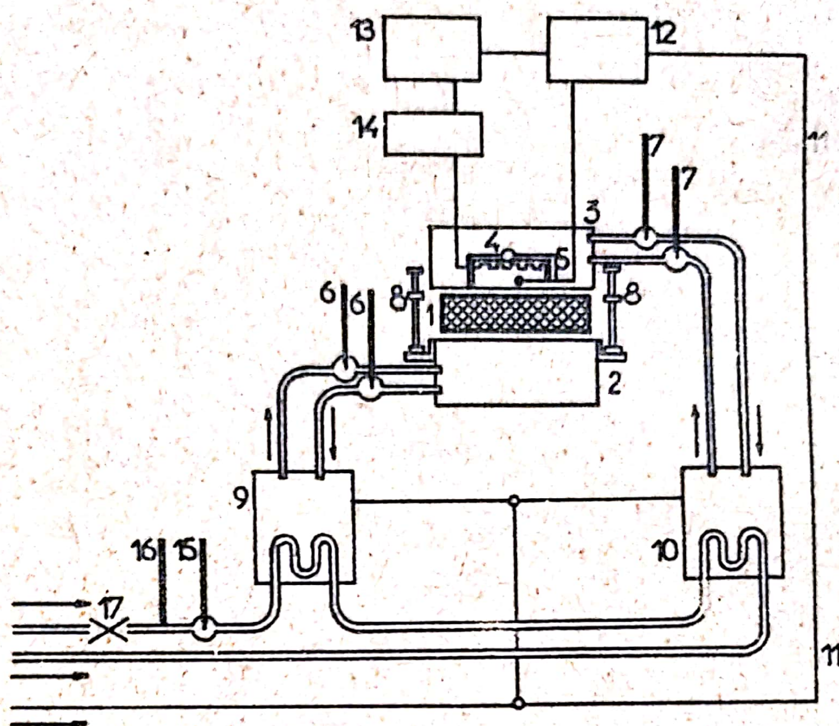
Pentru determinarea experimentală a coeficientului de conductivitate termică, conform STAS 5912-58 se recomandă două metode:

- metoda plăcii, bazată pe măsurarea energiei electrice consumată într-un încălzitor care acţionează asupra plăcii din materialul supus încercării;

- metoda peretelui ajutător (termo-fluxmetru).

Metoda plăcii, bazată pe folosirea aparatului Dr.Bock, implică folosirea probelor de dimensiunile 25 x 25 cm şi grosimea de 4 ... 8 cm, obţinîndu-se valori ale conductivităţii termice cu aproximaţii de 2...3 %.Metoda peretelui ajutător permite efectuarea de determinări pe probe de 50 x 50 cm, cu aproximaţie de pînă la 6 %.

Metoda plăcii constă, în principiu, din măsurarea cantităţii de căldură necesară pentru menţinerea regimului staţionar în cazul unei probe din materialul încercat, dispusă între două plăci (una rece, sub influenţa unui circuit de apă şi alta caldă,la temperatura precizată şi asigurată pe cale electrică.) Cantitatea de căldură ce străbate proba se obţine prin transformarea energiei electrice necesară menţinerii temperaturii plăcii calde la valoarea aleasă.In fig.7 se prezintă schema de principiu a aparatului Dr.Bock cu care sînt înzestrate laboratoarele de specialitate din ţară.



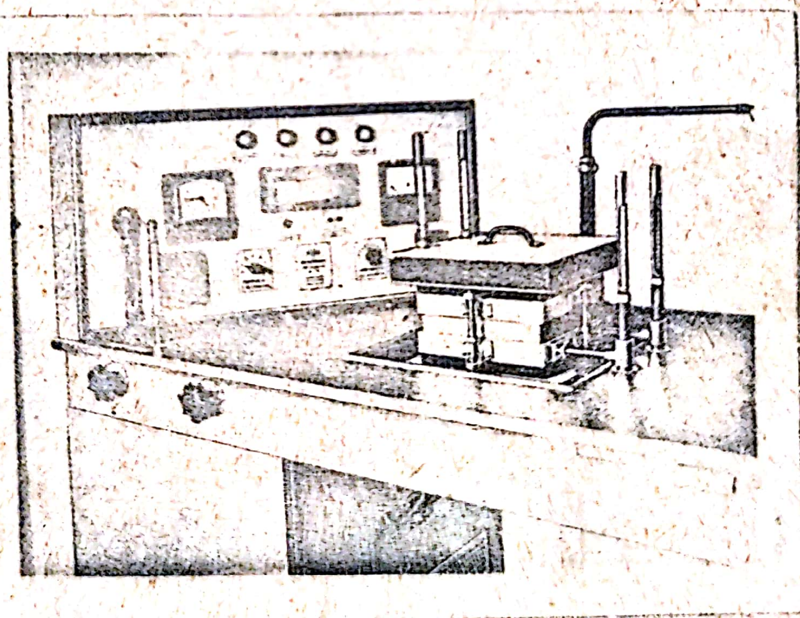


Fig.7. Schema şi vederea generală a aparatului Dr.Bock pentru determinarea conductivităţii termice: 1.corpul de probă;

2.placa de răcire; 3.placa de protecţie termică;4. placa de încălzire; 5. coloana de termocupluri; 6-7. termocuple pentru placa de protecţie termică; 8. şuruburi micrometrice; 9. termostat pentru placa de răcire; 10. termostat pentru placa de protecţie termică; 11. reţea de curent electric; 12. voltmetru; 13. contor electric; 14. milivoltmetru; 15. termometru pentru apa de răcire;16.debitmetru;17. ventil de reglare a debitului de răcire.

Conductivitatea termică λ , se determină cu relaţia:

$$\lambda = \frac{q \cdot d}{t - q \cdot W} \qquad (7)$$

în care:

$$q = \frac{C \cdot \Delta E}{\Delta T} \quad \text{şi} \quad K = \frac{n \cdot C_1 \cdot 10 \cdot 0{,}86}{S} \qquad (8)$$

- q, fluxul termic unitar;
- d, grosimea probei în mm, calculată ca valoare medie a citirilor la patru şuruburi micrometrice, cu precizia de 1/100 mm;
- ΔE, consumul de energie electrică în Kwh;
- ΔT , intervalul de timp în ore, corespunzător lui ΔE;
- C , constantă a aparatului;
- W , constantă care stabileşte suma rezistenţelor termice ale aparatului (W = 3);
- t , diferenţa temperaturilor superficiale ale probei de material în °C, calculată cu expresia:

$$t = \frac{t_{w_1} + t_{w_2}}{2} - \frac{t_{k_1} + t_{k_2}}{2} \quad (°C) \qquad (9)$$

- t_{w_1} , t_{w_2} , temperaturile plăcii calde, în °C ;
- t_{k_1} , t_{k_2} , temperaturile plăcii reci, în °C ;
- n , raportul dintre consumul plăcii de încălzire şi consumul general de energie a aparatului;
- C_1 , constanta contorului;

- S , suprafaţa plăcii de încălzire în contact cu materialul de studiat, în cm^2;
- 10 , factor de transformare a dimensiunilor;
- 0,86 factorul de transformare al Wh în Kcal.

In laborator se pot folosi şi alte metode valabile pentru regimul staţionar, cum sînt: metoda ţevii, metoda sferei, prezentate în lucrarea lui M.M.Goleand (13) şi metoda termofluxmetrelor folosită la elemente de construcţie la grosimea reală, care permite determinarea coeficientului total de transmisie termică. Pentru materiale cu găuri se poate folosi metoda analogiei electrice directă în cuvă cu electrolit (9), bazată pe analogia între fluxul termic şi electric. Determinarea coeficientului de conductivitate termică în regim nestaţionar, care prezintă interes în comportarea noilor structuri, se bazează pe transmisia termică în regim variabil şi se realizează prin metodele elaborate de Condratiev S.E., Vernotte, Cîmpan T. şi C.S.T.B. (Franţa).

B. Transmisia căldurii.

1.1.2. Transmisia căldurii în regim staţionar.

Transmisia căldurii prin elementele de construcţie are loc iarna de la interior la exterior (fig.8) deoarece $t_i > t_e$, t_i şi t_e fiind temperaturile aerului interior şi respectiv exterior, iar vara de la exterior spre interior deoarece în general $t_e > t_i$, în timpul zilei (12). Considerîndu-se într-un perete omogen, un strat de grosime infinitezimală dx, la care temperatura variază cu cantitatea dt, în cazul regimului termic staţionar, densitatea fluxului de căldură q, se calculează pe baza relaţiei stabilită de Fourier:

$$q = \lambda \cdot \frac{dt}{dx} \qquad (10)$$

în care:

q, densitatea fluxului de căldură, în Kcal/m^{2}h sau W/m^2;

λ, coeficientul de conductivitate termică a materialului omogen în Kcal/m.h.^{0}C sau W/m.^{0}C ;

$\frac{dt}{dx}$ gradientul de temperatură, în ^{0}C/m.

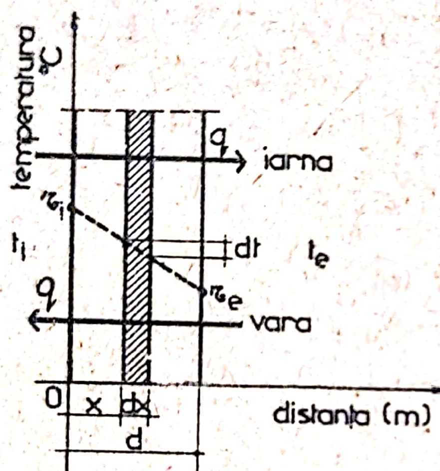


Fig.8. Transmisia căldurii prin conducție la structuri omogene.

In regim staționar q = const., deci:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \cdot \frac{d^2t}{dx^2} = 0 \quad (11)$$

Ecuația(11) caracterizează regimul termic staționar unidirecțional.

In cazul propagării căldurii după două direcții x și y, în mediu omogen, ecuația diferențială care caracterizează transmisia plană prin conducție, în regim staționar, se prezintă sub forma:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \qquad (12)$$

Pentru elementele de construcție cu transmisie spațială (colțuri, intersecții, remificații de pereți și acoperișuri, cornișe), ecuația diferențială ce caracterizează propagarea căldurii prin conducție, în regim staționar, se exprimă astfel:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \qquad (13)$$

în care x , y , z reprezintă coordonate spațiale.

In cazul fenomenului unidirecțional, exprimat prin ecuația (10), cîmpul termic este constant în planele paralele cu suprafața elementului de construcție, (fig.9)

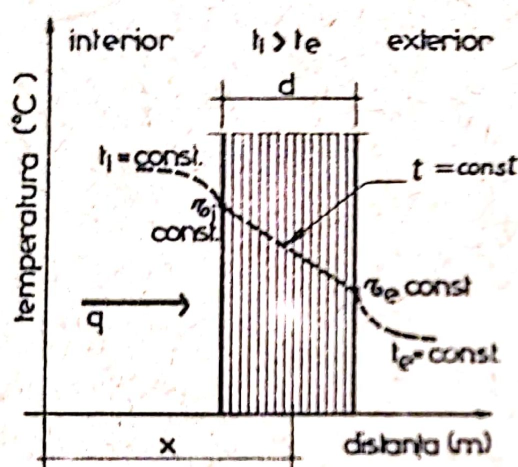


Fig.9. Cîmpul termic constant în planele paralele cu peretele.

Ecuațiile (11) și (12), de tip Laplace, prezintă interes, în cunoașterea cîmpurilor termice la structuri neomogene, la pereți din panouri mari și beton monolit, la care intervine transmisia plană și spațială a căldurii și care prezintă comportare specifică din punct de vedere higrotermic față de structurile omogene tradiționale. Cunoașterea cîmpului termic implică integrarea acestor ecuații avîndu-se în vedere condițiile la limită spațiale care se referă la temperatură și bilanț termic pentru suprafețele ce delimitează domeniul studiat.

La structuri cu transmisie termică unidirecțională, variația temperaturii în elementul de construcție presupune rezolvarea ecuației diferențiale :

$$dt = -\frac{q}{\lambda} \cdot dx \qquad (14)$$

cu următoarele condiții la limită:

$$x = o, \; t = \tau_i \quad ; \quad x = d, \quad t = \tau_e \; ; \; (15)$$

După integrarea ecuației (14) se obține:

$$t = -\frac{q}{\lambda} \cdot x + C \qquad (16)$$

Punînd condițiile la limită rezultă:

$$C = \tau_i \quad \text{şi} \quad \tau_e = -\frac{q}{\lambda} \cdot d + \tau_i \qquad (17)$$

de unde:

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (\tau_i - \tau_e) = \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta t \qquad (18)$$

Variația temperaturii în peretele omogen, considerînd sistemul de coordonate x o t este liniară şi este exprimată de relația:

$$t = \tau_i - \frac{\tau_i - \tau_e}{d} \cdot x = \tau_i - \frac{\Delta t}{d} \cdot x \qquad (19)$$

1.1.3. Permeabilitatea termică şi rezistența la permeabilitatea termică a elementelor de construcție.

La structuri de elemente omogene, pe baza relațiilor (1) şi (8), cantitatea de căldură Q transmisă este proporțională cu raportul $\Lambda = \frac{\lambda}{d}$, exprimat în Kcal/m^2.h.$^\circ$C ce reprezintă o caracteristică termofizică a elementului de construcții, denumită coeficientul de permeabilitate termică. Se defineşte prin cantitatea de căldură transmisă prin conducție printr-o suprafață de 1 m^2, a elementului de construcție, de grosime „d" în m, timp de o oră şi pentru o diferență de temperatură între cele două fețe ale elementului de 1°C.

Inversul coeficientului de permeabilitate termică:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda} = R \qquad (20)$$

reprezintă rezistența la transmisia căldurii prin conducție.

exprimată în $m^2.h.^oC/Kcal$, definindu-se prin rezistența pe care o opune un m^2 de suprafață a elementului de construcție, de grosime d , la trecerea căldurii prin conducție, în timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două fețe de 1^oC.

1.2. Transmisia căldurii prin convecție.

Propagarea căldurii prin convecție are loc ca fenomen general, la suprafețele de contact, între elementele de construcție și fluide (aer, apă,) deoarece temperaturile suprafețelor sînt diferite de ale mediului ambiant.

Cantitatea totală de căldură primită (q_c) sau cedată (q'_c) de un perete, fig.10, prin convecție, exprimată în Kcal, se determină pe baza legii lui Newton :

$$q_c = \alpha_c \cdot S \cdot (t_i - \tau_i) \cdot T \quad \text{(la primire)}$$
$$q'_c = \alpha'_c \cdot S \cdot (t_e - \tau_e) \cdot T \quad \text{(la cedare)} \qquad (21)$$

în care:

- S, suprafața elementului de construcție exprimată în m^2 ;

- α_c , coeficientul de transfer termic prin convecție la suprafața interioară, exprimat în $Kcal/m^2.h.^oC$ sau $W/m^2.^oC$;

- α'_c , coeficientul de transfer termic prin convecție la suprafața exterioară, exprimat în $Kcal/m^2.h.^oC$ sau $W/m^2.^oC$;

$t_i - \tau_i = \Delta\tau_i$; $\tau_e - t_e = \Delta\tau_e$ diferența de temperatură la primirea și respectiv cedarea căldurii, în ^oC;

α_c și α'_c definesc coeficienții de schimb superficial de căldură.

Dacă în relațiile (21) se consideră $S = 1\ m^2$, diferențele de temperatură $\Delta\tau_i = \Delta\tau_e = 1^oC$; $T = 1h$, se obține:

$$q_c = \alpha_c\ Kcal/m^2.h.^oC \ ; \quad q'_c = \alpha'_c\ Kcal/m^2.h.^oC \qquad (22)$$

Coeficienții de convecție (α_c și α'_c) se definesc

ca fiind cantitatea de căldură, în kilocalorii, primită sau cedată într-o oră de 1 m^2 de suprafaţă de perete, cînd diferenţa de temperatură între fluid şi suprafeţele elementului de construcţii este de 1^oC.

Valorile coeficienţilor α_c şi α_c' depind de natura fluidului, de natura şi aspectul suprafeţelor în contact, de diferenţa de temperatură între elementul de construcţie şi mediul ambiant, de viteza fluidului, în cazul cînd este în mişcare, de viteza vîntului, în cazul aerului exterior şi de sistemul de ventilaţie, în spaţii închise.

Pentru elementele de construcţii, coeficientul de convecţie interioară se poate calcula cu expresia lui Noosselt:

- Pentru suprafaţa interioară a pereţilor exteriori, cînd $t_i - \tau_i < 5^oC$, $\alpha_c = 3 + 0,08\ (t_i - \tau_i)$ Kcal/m^2.h.^oC (23)

$$\alpha_c = 2,2\sqrt[4]{t_i - \tau_i} \quad \text{cînd } t_i - \tau_i > 5\ ^oC. \qquad (24)$$

- Pentru pereţii interiori:

$$\alpha_c = 2,2\sqrt[4]{t_i - \tau_i} \quad Kcal/m^2.h.^oC \qquad (25)$$

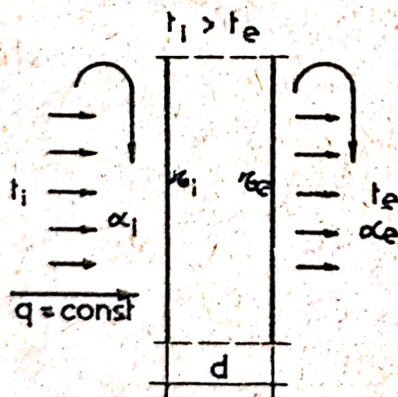


Fig.10. Transmisia căldurii prin convecţie

Pentru planşee şi acoperişuri, cînd sensul fluxului termic este ascendent (de exemplu la tavane avînd deasupra pod neîncălzit):

$$\alpha_c = 2,8\sqrt[4]{t_i - \tau_i} \quad Kcal/m^2.h.^oC \qquad (26)$$

Pentru flux de căldură descendent, de exemplu pentru pardoseli aşezate pe subsol neîncălzit, α_c = o ceea ce se explică prin faptul că într-o încăpere închisă aerul va circula de jos în sus şi nu invers.

Din relaţia lui Noosselt rezultă că mărimea α_c nu de-

pinde de viteza mişcării aerului ceea ce este valabil în măsura în care într-o încăpere închisă viteza aerului este neglijabilă.

Pentru suprafaţa exterioară a peretelui exterior, mărimea coeficientului de convecţie exterioară α_c' depinde de viteza vîntului şi se poate calcula cu relaţia lui Wirtz :

$$\alpha_c' = 13\sqrt{v} \quad Kcal/m^2.h.^oC \qquad (27)$$

în care:

- v, viteza vîntului, în m/s.

In condiţiile obişnuite v = 1,5 m/s la sate şi periferii de oraşe şi v = 0,75 m/s pentru centrul oraşelor.

1.3. Transmisia căldurii prin radiaţie.

Schimbul de căldură în construcţii poate avea loc şi prin transmisia energiei radiante a suprafeţelor elementelor de construcţie, la interior sau exterior, a obiectelor şi corpurilor de încălzire ce se află în încăperi.

Cantitatea de căldură transmisă prin radiaţie variază proporţional cu temperatura absolută a corpului la puterea a patra, conform relaţiei lui Stephen - Boltzmann :

$$q_r = c\left[\frac{T}{100}\right]^4 \qquad (28)$$

în care:

- q_r, fluxul de căldură radiată, în $Kcal/m^2.h.$;

- c , coeficient de radiaţie în $Kcal/m^2.h.(^oK)^4$ şi care reprezintă cantitatea de căldură radiată de 1 m^2 de material într-o oră, în vid, la o temperatură absolută a suprafeţei radiante egală cu 100^oC ;

- T, temperatura suprafeţei în ^oK.

Cantitatea de căldură primită prin radiaţie de la aerul

interior la suprafaţa interioară a peretelui exterior, fig. 11, sau respectiv transmisă de suprafaţa exterioară a peretelui exterior este:

$$Q_r = C \cdot S \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ Kcal/h} \qquad (29)$$

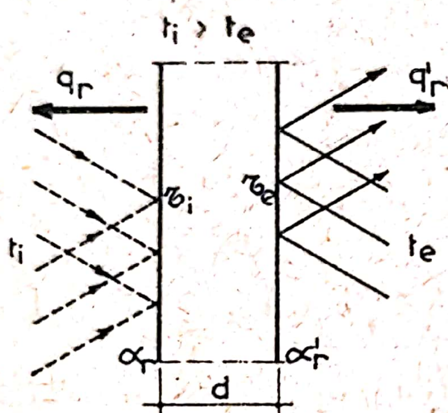


Fig. 11. Transmisia căldurii prin radiaţie

- S, suprafaţa ce primeşte sau radiază căldura, exprimată în m²;
- T_1, temperatura absolută a aerului încăperii ($T_1 = t_i + 273$) sau respectiv a suprafeţei exterioare a peretelui exterior ($T_1 = \tau_e + 273$) în °K ;
- T_2 , temperatura absolută a suprafeţei interioare a peretelui exterior ($T_2 = \tau_i + 273$) şi a aerului exterior, respectiv: ($T_2 = t_e + 273$).

La materiale de construcţie termoizolante, valorile coeficientului "C" variază în limitele de la 31 Kcal/m².h.(°K)⁴ pînă la 4,7 Kcal/m².h.(°K)⁴. In medie pentru majoritatea materialelor de construcţii se poate considera valoarea de 4,2 Kcal/m².h.(°K)⁴. Cea mai mare valoare a coeficientului de radiaţie o are corpul negru pentru care C=4,96 Kcal/m².h.(°K)⁴.

Raportînd expresia (29) la diferenţa de temperatură a aerului interior şi a suprafeţei interioare a peretelui exterior şi respectiv a suprafeţei exterioare a peretelui şi a aerului exterior, pentru mărimea suprafeţei de 1m² şi în timp de o oră, se obţin expresiile coeficienţilor de radiaţie a căldurii:

- la primirea căldurii:

$$\alpha_r = \frac{C_o\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}{t_i - \tau_i} \quad Kcal/m^2.h.^oC \quad (30)$$

- la cedarea căldurii:

$$\alpha'_r = \frac{C_o\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}{\tau_e - t_e} \quad Kcal/m^2.h.^oC \quad (31)$$

1.4. Transmisia căldurii prin convecţie şi radiaţie. Coeficienţii de schimb superficial:

Căldura totală primită de suprafaţa interioară a peretelui exterior şi căldura totală cedată de suprafaţa exterioară a peretelui este suma căldurii primită sau cedată prin convecţie şi radiaţie. Aceste fenomene sînt luate în considerare prin coeficientul de schimb superficial la primirea căldurii (α_i) şi coeficientul de schimb superficial la cedarea căldurii (α_e), denumiţi coeficienţii de transfer termic la suprafaţa interioară şi respectiv exterioară şi reprezintă:

$$\alpha_i = \alpha_c + \alpha_r \quad Kcal/m^2.h.^oC \text{ sau } W/m^2.^oC$$

$$\alpha_e = \alpha'_c + \alpha'_r \quad Kcal/m^2.h.^oC \text{ sau } W/m^2.^oC \quad (32)$$

Inversul coeficienţilor α_i şi α_e definesc rezistenţa la primirea R_i şi respectiv cedarea căldurii, R_e, exprimîndu-se astfel:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i} \quad m^2.h.^oC/Kcal \text{ sau } m^2.^oC/W$$

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e} \quad m^2.h.^oC/Kcal \text{ sau } m^2.^oC/W \quad (33)$$

In anexa II sînt prezentate valorile coeficienţilor de schimb superficial de căldură şi a rezistenţelor la schimb superficial de căldură, în conformitate cu STAS 6472 - 68 şi după literatura franceză.

1.5. Transmisia căldurii prin elemente de construcţii în straturi.

1.5.1. Transmisia căldurii prin conducţie la structuri în mai multe straturi paralele.

In cazul unui element de construcţie plan, compus din mai multe straturi, perpendiculare pe fluxul termic, avînd grosimile d_1, d_2, d_3 (fig.12) şi coeficienţii de conductivitate termică λ_1, λ_2, λ_3, transmisia căldurii prin conducţie în regim staţionar implică condiţia ca densitatea fluxului termic pentru fiecare strat să fie constantă (22).

$$q = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot (\tau_i - t_1) = \frac{\lambda_2}{d_2} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{\lambda_3}{d_3} \cdot (t_2 - \tau_e) = \text{const.} \qquad (34)$$

Din relaţiile (34) se obţin diferenţele de temperaturi între feţele straturilor 1,2,3.

$$(\tau_i - t_1) = q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1}; \; (t_1 - t_2) = q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2}; \; (t_2 - \tau_e) = q \cdot \frac{d_3}{\lambda_3} \qquad (35)$$

Diferenţa totală de temperatură între feţele extreme ale elementului compus este:

$$\tau_i - \tau_e = q \cdot \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right) \qquad (36)$$

Densitatea fluxului termic q se poate exprima cu relaţia:

$$q = \frac{\tau_i - \tau_e}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{\Delta \tau}{R} \qquad (37)$$

Densitatea fluxului termic la transmisia căldurii prin conducție, în regim staționar, la structuri în mai multe straturi este proporțională cu diferența de temperatură între suprafețele extreme și invers proporțională cu rezistența termică la transmisia căldurii prin conducție, o caracteristică termică a elementului de construcție, exprimată în $m^2 . h. {}^{\circ}C/Kcal$.

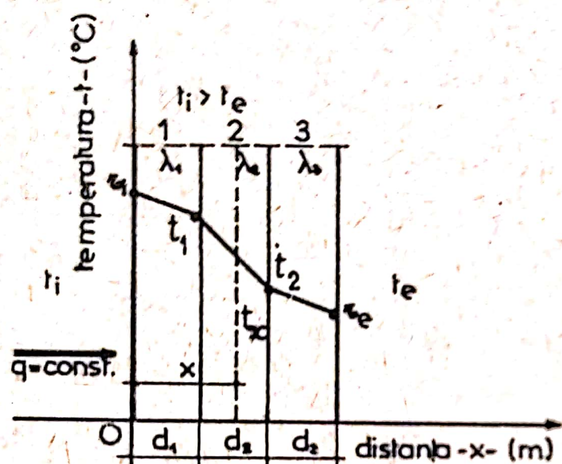


Fig.12. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi. Variația temperaturii.

Expresia fluxului termic prin conducție se poate pune sub forma:

$q = \Delta \tau . K$ *în care:*

$$K = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \qquad (38)$$

K reprezintă coeficientul de transmisie termică a căldurii prin conducție, la elemente în mai multe straturi, exprimat în $Kcal/m^2.h.{}^{\circ}C$ și se definește prin cantitatea de căldură ce trece prin 1 m^2 de perete, timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două fețe extreme de $1^{\circ}C$.

R, caracterizează rezistența la transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi și reprezintă suma rezistențelor la trecerea căldurii prin suprafața de 1 m^2 a straturilor componente, având grosimile d_1, d_2, d_3, timp de o oră și pentru o diferență totală de temperatură între suprafețele extreme de $1^{\circ}C$, conform relației:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = \sum_{K=1}^{3} \frac{d_K}{\lambda_K} \qquad (39)$$

In cazul structurilor alcătuite din "n" straturi, relația (38) devine:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} = \sum_{K=1}^{n} \frac{d_K}{\lambda_K} \qquad (40)$$

Intre R și K există relația:

$$R = \frac{1}{K} \qquad (41)$$

Valorile temperaturilor suprafețelor interioare în planurile de separație ale straturilor componente se pot calcula cu expresiile :

$$t_1 = \tau_i - q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1} = \tau_i - q \cdot R_1 = \tau_i - \frac{R_1}{R} \cdot \Delta\tau$$

$$t_2 = t_1 - q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2} = \tau_i - q \cdot \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}\right) = \tau_i - q \cdot (R_1 + R_2) = \tau_e + q \cdot \frac{d_3}{\lambda_3} = \tau_e + \Delta\tau \cdot \frac{R_3}{R} \qquad (42)$$

Intr-un strat la distanța x de fața caldă, temperatura t_x rezultă pe baza relației:

$$t_x = \tau_i - q \cdot R_x = \tau_i - \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{x - d_1}{\lambda_2}\right) \cdot \frac{\Delta\tau}{R} \qquad (43)$$

în care:

R_x - rezistența termică la transmisia căldurii prin conducție pînă în secțiunea x.

Reprezentarea grafică a temperaturii în structura peretelui în mai multe straturi este o linie frîntă ($\tau_i - t_1 - t_2 - \tau_e$)

1.5.2. Rezistența termică a straturilor de aer la pereți.

Valoarea rezistenței termice a straturilor de aer închise în elementele de construcție exterioare, pereți și terase funcție de grosimea stratului, fig.13, poziția în elementul de construcție (orizontală sau verticală), direcția fluxului termic, temperatura și umiditatea aerului, capacitatea de absorb-

ţie termică a materialelor ce delimitează stratul de aer, definită de expresia:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1$$

In anexa III sînt prezentate valorile rezistenţei termice a straturilor de aer incluse în elementele de construcţie, în funcţie de grosimea, orientarea straturilor şi a fluxului termic, considerînd straturile ce delimitează lamela de aer din materiale masive cu $a_1 = a_2 = 0{,}90$ şi $a = 0{,}82$. Dacă una din suprafeţe este metalică şi alta masivă $a = 0{,}20$, dacă ambele suprafeţe sînt metalice $a = 0{,}11$ şi $a = 0{,}05$ la suprafeţe de absorbţie redusă.

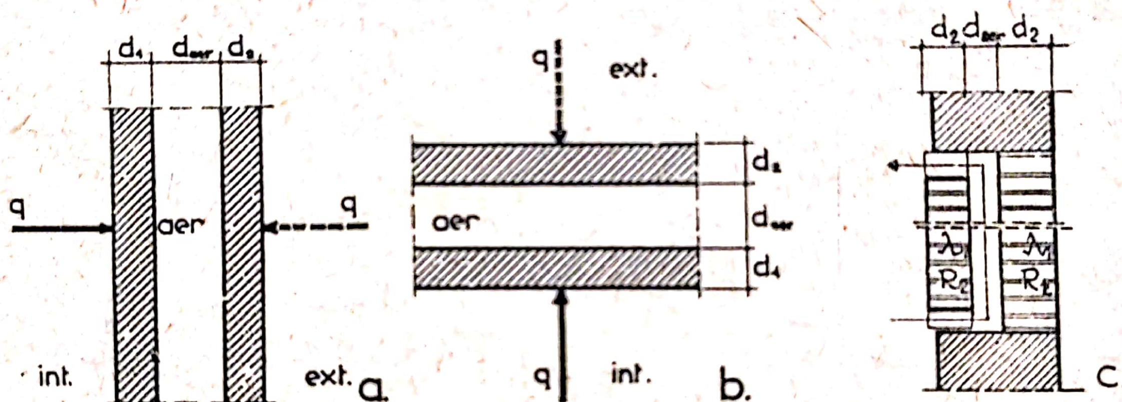


Fig.13. Capacitatea de izolare termică a aerului, depinde de orientarea stratului şi grosime: a) vertical; b) orizontal ; c) strat aerat.

Din datele prezentate rezultă că grosimea optimă a stratului de aer din punct de vedere al eficienţei termice este 10 - 30 mm. Creşterea grosimii stratului de aer peste 50 mm, în cazul fluxului termic ascendent, nu influenţează favorabil rezistenţa termică a lamelei de aer, datorită activării schimburilor prin convecţie. In scopul de a asigura eficienţa termică a straturilor de aer este indicat ca în exploatare să se asigure

etanşeitatea elementelor de construcţie pentru evitarea circulaţiei aerului şi a curenţilor de convecţie.

In cazul lamelei de aer uşor ventilată, fig.13 c, cu orificii de suprafaţă<de 100 cm^2 pe m.l. de perete, rezistenţa stratului de aer de 3 cm grosime se ia $R_a = 0,18\ m^2.h.^oC/Kcal$, sau $0,16\ m^2.^oC/W$, iar coeficientul global $R_o = \frac{1}{K_o} = \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + R_a + R_e + \frac{1}{\alpha_e}$.

In cazul stratului de aer puternic ventilat, se va lua: $R_o' = \frac{1}{K_o'} = \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + \frac{1}{\alpha_e}$. Dacă stratul de aer este ventilat într-o manieră intermediară, coeficientul global de transmisie a căldurii va avea valoarea medie $\bar{K} = K_o + \alpha(K_o' - K)$ în care α depinde de raportul $\frac{R_2}{R_1}$ şi de mărimea orificiilor de aerisire, avînd valori între 0,10 şi 0,60. La structuri puternic ventilate cu secţiuni ale orificiilor de ventilaţie cuprinse între 200 şi 400 cm^2 se poate utiliza relaţia aproximativă:

$$\frac{1}{K_o} = R_o - \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + \frac{1}{\alpha_i} = \frac{2}{\alpha_i} + R_1$$

1.5.3. Transmisia termică totală a căldurii, prin conducţie şi convecţie.

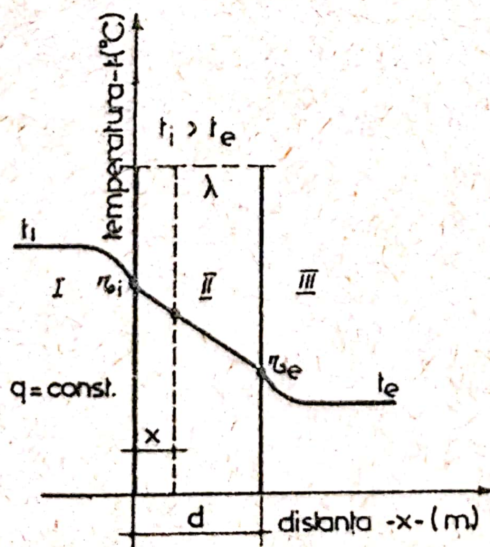


Fig.14. Transmisia totală a căldurii prin conducţie şi convecţie.

Transmisia căldurii în construcţii are loc în special prin conducţie şi convecţie.

In cazul unui element de construcţie omogen care separă două medii de temperaturi diferite, cu temperaturile $t_i > t_e$, în regim termic staţionar, are loc trasport

de căldură din zona mai caldă spre mediul mai rece în următoarele fase (fig.14):

- Transmisia căldurii prin convecţie(I) de la aerul din încăpere la faţa interioară a peretelui exterior, pe baza relaţiei:

$$q_I = \alpha_i \cdot (t_i - \tau_i) \qquad (44)$$

- Transmisia căldurii prin conducţie(II),dela suprafaţa mai caldă la suprafaţa mai rece a elementului de construcţie,conform expresiei:

$$q_{II} = \frac{\lambda}{d} \cdot (\tau_i - \tau_e) \qquad (45)$$

- Transmisia căldurii prin convecţie(III) de la suprafaţa exterioară a elementului de construcţie la aerul exterior, pe baza relaţiei:

$$q_{III} = \alpha_e \cdot (\tau_e - t_e) \qquad (46)$$

Condiţia regimului termic staţionar implică şirul de egalităţi ale expresiilor densităţii fluxului termic:

$$q_I = q_{II} = q_{III} = \alpha_i \cdot (t_i - \tau_i) = \frac{\lambda}{d}(\tau_i - \tau_e) = \alpha_e \cdot (\tau_e - t_e) = q \qquad (47)$$

Diferenţele parţiale de temperatură se pot calcula cu relaţiile:

$$t_i - \tau_i = \frac{q}{\alpha_i} \; ; \; \tau_i - \tau_e = q \cdot \frac{d}{\lambda} \; ; \; \tau_e - t_e = \frac{q}{\alpha_e} \qquad (48)$$

Din expresiile (48) se obţine diferenţa totală de temperatură între mediile I şi III:

$$t_i - t_e = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \qquad (49)$$

de unde:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = (t_i - t_e) \cdot k_t = \frac{\Delta t}{R_t} \qquad (50)$$

1.5.4. Coeficientul de transmisie termică și rezistența termică totală a elementelor de construcție în straturi.

Termenul $$K_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \qquad (51)$$

exprimat în $Kcal/m^2.h.^oC$ sau $W/m^2.^oC$, reprezintă o caracteristică termică a elementului de construcție de grosime d, denumit coeficientul de transmisie termică totală și reprezintă cantitatea de căldură ce trece în regim staționar printr-o suprafață de 1 m^2, timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două medii de 1^oC.

Inversul acestui coeficient.

$$\frac{1}{K_t} = R_t = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} = R_i + R + R_e \qquad (52)$$

exprimat în $m^2.h.^oC/Kcal$ sau $m^2.^oC/W$, reprezintă rezistența la transmisia termică totală a căldurii, adică rezistența pe care o opune la trecerea căldurii un element de construcție de 1 m^2 suprafață, grosime d, timp de o oră și pentru o diferență a temperaturilor celor două medii de 1^oC.

Rezistența totală la transmisia căldurii este suma rezistențelor la transmisia căldurii prin convecție interioară (R_i), prin conducție ($R = \frac{d}{\lambda}$) și convecție exterioară(R_e).

In cazul unui element de construcție alcătuit din "n" straturi, coeficientul de transmisie termică totală și respectiv rezistența la transmisia termică totală se exprimă astfel:

$$K_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{K=1}^{n} \frac{d_K}{\lambda_K} + \frac{1}{\alpha_e}} ; \quad R_t = \frac{1}{K_t} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{K=1}^{n} \frac{d_K}{\lambda_K} + \frac{1}{\alpha_e} \qquad (53)$$

Calculul temperaturilor suprafețelor de separație ale elementului de construcție compus, se face cu ajutorul relațiilor :

$$t_i-\tau_i=q\cdot\frac{1}{\alpha_i} \quad ; \quad \tau_i-\tau_e=q\cdot\frac{d}{\lambda} \quad ; \quad \tau_e-t_e=q\cdot\frac{1}{\alpha_e}$$

$$\tau_i=t_i-q\cdot\frac{1}{\alpha_i}=t_i-\Delta t\cdot\frac{K_t}{\alpha_i}=t_i-\frac{R_i}{R_t}\cdot\Delta t$$

$$\tau_e=\tau_i-q\cdot\frac{d}{\lambda}=t_i-\frac{R_i}{R_t}\Delta t-R\cdot\frac{\Delta t}{R_t}=t_i-\left(\frac{R_i+R}{R_t}\right)\cdot\Delta t \qquad (54)$$

Expresia lui τ_e se poate obține și în funcție de t_e:

$$\tau_e=t_e+\frac{t_i-t_e}{\alpha_e}\cdot K_t=t_e+\frac{R_e}{R_t}\cdot\Delta t \qquad (55)$$

Temperatura în stratul "x" se poate calcula cu expresia :

$$t_x=t_i-\frac{R_x}{R_t}\cdot\Delta t=t_i-\frac{R_i+\frac{x}{\lambda}}{R_t}\cdot\Delta t \qquad (56)$$

în care:

- R_x, rezistența la transmisia totală a căldurii pînă în secțiunea x, exprimată în $m^2.h.^{\circ}C/Kcal$ sau $m^2.^{\circ}C/W$.

1.6. Pierderi generale ale căldurii în construcții.

Coeficientul volumic de transfer a căldurii.

La stabilirea pierderilor generale ale căldurii în construcții trebuie să se ia în considerare pereții fără goluri exterioare(ferestre și uși), pereți cu goluri exterioare, precum și pierderile datorită aerisirii naturale a încăperilor.Debitul de căldură transmis prin pereți fără goluri,fig.15, se obține plecînd de la rezistența termică a unui perete în mai multe straturi :

$$R_t=\frac{1}{K_t}=\frac{1}{\alpha_i}+\sum_{k=1}^{n}\frac{d_k}{\lambda_k}+\frac{1}{\alpha_i}$$

$$K_t=\frac{1}{R_t}=\frac{}{\frac{1}{\alpha_i}+\sum_{k=1}^{n}\frac{d_k}{\lambda_k}+\frac{1}{\alpha_i}} \qquad (57)$$

Expresia debitului de căldură la peretele plin (fără goluri) este deci :

$$q_{p+g} = K_t \cdot \Delta t \cdot A \quad [Kcal/h] \qquad (58)$$

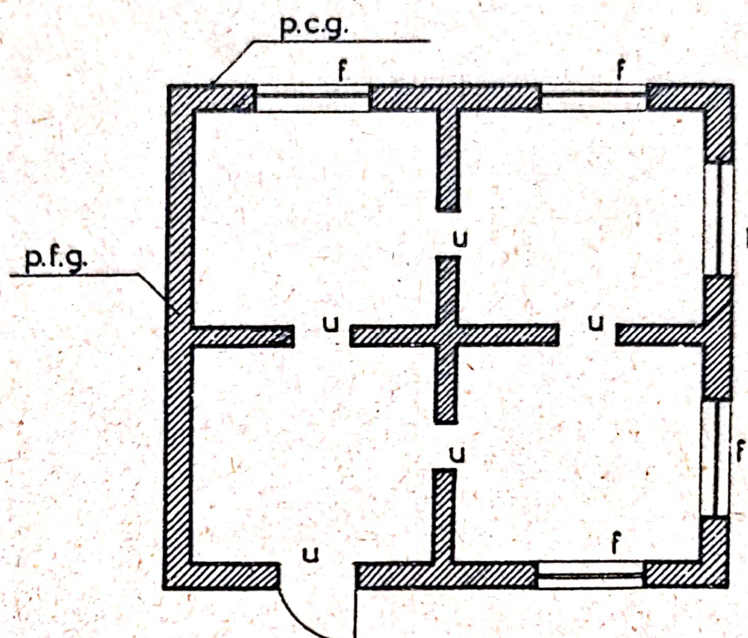


Fig.15. Pierderi generale ale căldurii în clădiri:

- p.f.g. - perete fără goluri;
- p.c.g. - perete cu goluri ;
- f - fereastră ;
- u - uşă

Pentru peretele din zidărie de cărămidă obişnuită, considerat etalon, valoarea lui K_t rezultă:

$$K_t = \frac{1}{o,14 + \frac{o,375}{o,7} + o,o5} = \frac{1}{o,77} = 1,3o \ Kcal/m^2.h.^oC \qquad (59)$$

Coeficientul de transmisie termică a ferestrelor depinde de grosimea şi natura sticlei, de tipul de fereastră (simplă, dublă, cuplate, cu oblon, etc.)

Considerînd grosimea minimă a sticlei 0,002 m, cu coeficientul de conductivitate termică λ = 1 Kcal/m.h.^oC , în cazul unei ferestre simple, coeficientul de transmisie termică

rezultă :

$$K_f = \frac{1}{R_f} = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,002}{1} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,20} = 5\ Kcal/m^2.h.^{\circ}C \quad (60)$$

La ferestre duble coeficientul K_f prezintă valoarea 3 $Kcal/m^2.h.^{o}C$.

Valorile coeficientului de transmisie termică K_f scade în cazul ferestrelor cu obloane, la geam simplu între 2,5 şi 4,o $Kcal/m^2.h.^{o}C$ şi la geamuri duble între 2.o şi 2,5 $Kcal/m^2.h.^{o}C$. La ferestre cu obloane şi perdele, coeficientul de transmisie termică la geam simplu prezintă valoarea între 2,o şi 3,o $Kcal/m^2.h.^{o}C$, iar la geam dublu între 1,5 şi 2,5 $Kcal/m^2.h.^{o}C$

Din motive economice la sistemul de încălzire centrală se recomandă ca raportul între fereastră şi pardoseală să fie în zona I-a, $\frac{1}{8}$ .... $\frac{1}{6}$, în zona a II-a, $\frac{1}{8}$ ... $\frac{1}{4}$ în zona a III-a între $\frac{1}{10}$ şi $\frac{1}{6}$

Pierderile de căldură din încăperi, datorită aerisirii naturale, sînt egale cu produsul căldurii specifice a aerului (o,3 $Kcal/m^3.^{o}C$) cu volumul ventilat V, în m^3/h şi diferenţa de temperatură $\Delta t = t_i - t_e$, între aerul interior şi exterior, conform expresiei:

$$q = 0,3.V.n.\Delta t \qquad [Kcal/h] \qquad (61)$$

în care:

- n, numărul de schimb orar al volumului de aer din încăpere.

Pentru aprecierea pierderilor globale de căldură din clădiri se introduce noţiunea de coeficient volumic de pierderi de căldură. Expresia fluxului termic global orar, în Kcal/h, în clădiri se prezintă sub forma:

$$Q = \sum A.K_{p.f.g.}.\Delta t + \sum A.K_{p.c.g}.\Delta t + \sum A_f.K_f.\Delta t + 0{,}3n.V\Delta t \qquad (62)$$

Fluxul global în Kcal/h.°C pentru $\Delta t = 1^{0}C$, diferență de temperatură, este:

$$Q = \sum A.K_{pf.g} + \sum A.K_{p.c.g} + \sum A_{f}.K_{f} + 0,3\, nV \qquad (63)$$

Impărțind expresia (62) prin V, se obține coeficientul volumic de pierderi a căldurii K_v în $Kcal/m^3.h.^{0}C$ sau $W/m^3.^{0}C$:

$$K_v = \frac{\sum A.K_p}{V} + \frac{\sum A_f . K_f}{V} + 0,3\, n \qquad (64)$$

In care K_p reprezintă coeficientul de transmisie a căldurii la peretele fără fereastră, în $Kcal/m^2.h.^{0}C$.

La clădiri cu pereți din zidărie de cărămidă obișnuită, valoarea coeficientului volumic de transmisie a căldurii este cuprinsă între 1,10 și 1,70 $Kcal/m^3.h.^{0}C$, putîndu-se considera în medie 1,25 $Kcal/m^3.h.^{0}C$. Valorile maxime pentru K se recomandă la pereți masivi, 1,9 $Kcal/m^3.h.^{0}C$ în zona I-a, 1,7 $Kcal/m^3.h.^{0}C$, în zona II-a și 1,5 $Kcal/m^3.h.^{0}C$ în zona a III-a. La pereți ușori (masa între 200 și 350 $Kcal/m^2$ se recomandă $K = 1,5\ Kcal/m^3.h.^{0}C$ în zonele I-a și II-a.

1.7. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în straturi cu punți termice.

Integrarea ecuației cîmpului termic. Condiții la limite.

La pereți de zidărie cu stîlpi de beton armat, la panouri mari în trei straturi, la elemente de beton armat monolit în trei straturi, la colțuri și ramificații de pereți cu stîlpi de beton armat monolit, datorită neomogenității structurilor, transmisia căldurii prin conducție, după două și trei direcții, are loc pe baza ecuațiilor (65):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right)=0\ ;\ \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial t}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial z}\right)=0 \qquad (65)$$

Folosirea materialelor grele (betonul vibrat) şi a materialelor uşoare termoizolatoare (vată minerală, pîslă minerală, beton celular, beton de granulit, polistiren expandat) în structuri neomogene face ca ipoteza clasică a transmisiei unidirecţionale a căldurii, utilizată pentru structuri masive, omogene, să nu fie valabilă. La aceste structuri transmisia termică are loc nu numai de la interior la exterior, după direcţia perpendiculară pe perete (fig.16,) dar şi în planul peretelui, din zona cu coeficient mic de permeabilitate termică spre zona de permeabilitate termică mai mare. Fluxul termic total q este alcătuit din fluxul termic după direcţia x (q_x) şi după direcţia y(q_y). Liniile de flux termic $\varphi(x,y)$ au o orientare oarecare în zona de influenţă a materialelor mai permeabile din punct de vedere termic. Modificarea direcţiilor liniilor de flux termic determină şi modifica-

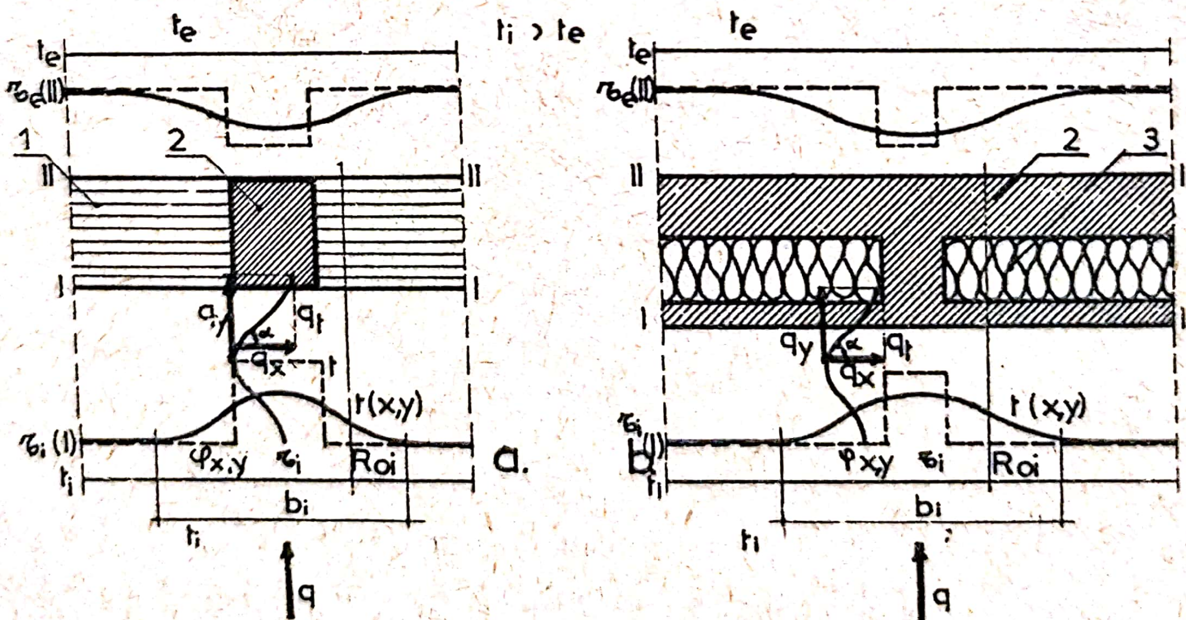


Fig.16. Transmisia plană a căldurii prin conducţie la structuri neomogene: 1. zidărie ceramică; 2. beton armat; 3. izolaţie termică.
a) stîlp de beton armat şi zidărie de umplutură;
b) perete din panouri mari.

rea curbelor de temperatură $t\ (x,y)$ şi deci a cîmpului termic. La structurile omogene liniile de flux termic sînt perpendiculare pe perete şi paralele între ele ceea ce face ca temperatura într-un plan paralel cu elementul de construcţie să fie aceeaşi.

In cazul structurilor neomogene determinarea caracteristicilor termice se poate obţine pe baza cunoaşterii cîmpului termic. Aceasta presupune integrarea ecuaţiilor (65). Soluţiile particulare, exacte sau aproximative, ale ecuaţiilor diferenţiale trebuie să verifice condiţii la limită care se definesc astfel:

- Condiţii la limită de speţa întîia (Dirichlet) fig.17, care fixează distribuţia funcţiei necunoscute pe conturul domeniului studiat şi se exprimă cu relaţia:

$$t_s = f_1\ (x,y,z,T) \qquad (66)$$

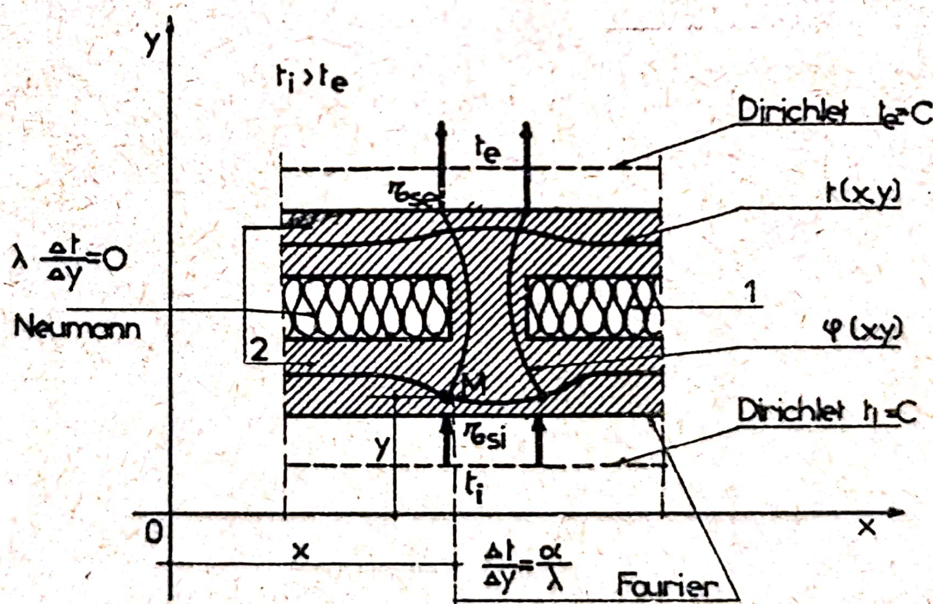


Fig.17. Condiţii de contur la o structură de perete cu punte termică cu transmisie pe două direcţii: 1 - izolaţie termică; 2 - beton armat.

- Condiţii la limită de speţa a doua (Neumann) care fixează distribuţia derivatelor funcţiei necunoscute pe conturul

domentului studiat şi se exprimă astfel:

$$\left|\frac{\partial t}{\partial n}\right|_s = f_{II}(x,y,t,T) \qquad (67)$$

în care: $\frac{\partial t}{\partial n}$, gradientul termic normal pe suprafaţa considerată.

Din punct de vedere termic această condiţie are semnificaţia unui flux ce traversează suprafaţa elementului de construcţie.

- Condiţii la limită de speţa treia (Fourier) care exprimă schimbul termic la suprafaţa de contact a elementului de construcţie cu fluidul înconjurător (aer, apă) aflat la temperatura t_a;

$$\alpha_{i,e}\cdot(t_s - t_a) = -\lambda\cdot\left|\frac{\partial t}{\partial n}\right|_s \qquad (68)$$

în care:

- $\alpha_{i,e}$, coeficientul de schimb superficial de căldură la suprafaţa interioară şi respectiv exterioară în Kcal/m^2.h.°C;

- λ, coeficientul de conductivitate termică al materialului din care este alcătuit domeniul studiat, în Kcal/m.h.°C.

- Condiţii la limită de speţa a patra ce intervin la probleme referitoare la domenii neomogene, de conductivităţi termice λ_1 şi λ_2, care în condiţiile egalităţii fluxurilor termice conduc la expresia:

$$\lambda_1\cdot\left|\frac{\partial t_1}{\partial n}\right| = \lambda_2\cdot\left|\frac{\partial t_2}{\partial n}\right| \qquad (69)$$

1.8. Metode pentru determinarea caracteristicilor termice a elementelor de construcţii.

Cunoaşterea câmpului termic, respectiv cunoaşterea temperaturii în zona de transmisie plană ce caracterizează lăţimea de influenţă b_i a elementelor de mare permeabilitate termică, denumite punţi termice, permite determinarea rezistenţei termice, respectiv a coeficientului de transmisie termică în sec-

ţiunea considerată.

Rezistenţa termică într-o secţiune K - K (fig.18) din zona de influenţă " b_i" a punţii se poate calcula pe baza temperaturii τ_{ik} sau τ_{ek} a suprafeţei interioare sau exterioare a elementului de construcţie, în condiţiile de dimensionare termică având în vedere temperatura de calcul a aerului interior t_i şi temperatura de calcul a aerului exterior t_e.

$$R_K = \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_{iK}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{sau} \quad R_K = \frac{t_i - t_e}{t_e - \tau_{eK}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \qquad (70)$$

In secţiunea s-s, situată la limita zonei de influenţă "b_i" a punţii termice, rezistenţa termică are valoarea maximă calculată cu expresia:

$$R_{max_{s-s}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} \qquad (71)$$

In secţiunea p-p, corespunzătoare axului punţii termice, rezistenţa termică este minimă şi se poate calcula cu ajutorul uneia din expresiile:

$$R_{min_{p-p}} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_{imin}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{sau} \quad R_{min_{p-p}} = \frac{t_i - t_e}{t_e - \tau_{emax}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \qquad (72)$$

în care: $\tau_{i\,min}$ şi $\tau_{e\,max}$ reprezintă temperaturile minimă şi respectiv maximă pe suprafaţa interioară şi exterioară a elementului de construcţie. Cunoscîndu-se valorile R_K, R_{max}, R_{min} se pot calcula pierderile reale de căldură în zona punţilor pe baza transmisiei plane a căldurii.

Cunoaşterea cîmpului termic în cazul transmisiei plane implică rezolvarea ecuaţiei diferenţiale (73) în condiţii la limită :

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \qquad (73)$$

ce interesează practica construcţiilor.



Fig.18. Schema de calcul a coeficientului mediu de transmisie termică ; 1 - beton armat ; 2 - izolaţie termică ; p - punte termică.

Soluţia analitică exactă în acest caz este practic inaccesibilă şi de aceea soluţionarea problemelor termice de acest gen se bazează pe următoarele posibilităţi:

- Metode aproximative;
- Metode de calcul cu diferenţe finite;
- Metoda analogiilor electrice;
- Metode experimentale la clădiri în exploatare.

1.8.1. Metode aproximative de calcul.

La elemente de construcţii alcătuite din mai multe

straturi, paralele cu fluxul termic q (fig.19), rezistenţa termică paralelă $R_{\parallel}$, la transmisia căldurii prin conducţie se poate calcula conform (3,11) şi STAS 6472/68 cu relaţia aproximativă (74):

$$R_{\parallel} = \frac{A_I + A_{II} + A_{III} + \cdots}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}} + \frac{A_{III}}{R_{III}} + \cdots} \qquad (74)$$

în care:

- R_I, R_{II}.... rezistenţa termică a straturilor de grosime "d", în secţiunile I, II.... paralele cu fluxul termic şi având conductivităţile λ_I, λ_{II} ...



Fig.19. Rezistenţa termică aproximativă la elemente din straturi paralele cu fluxul termic.

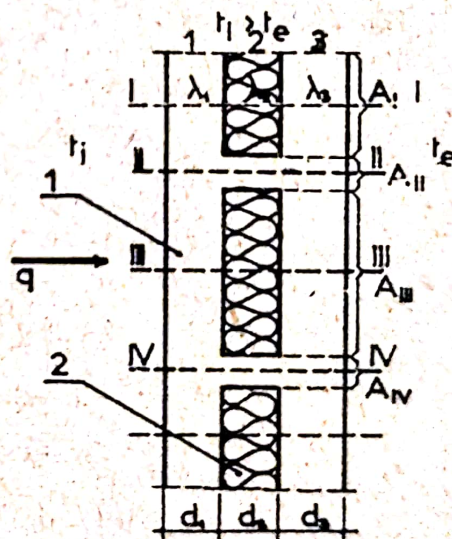


Fig.20. Rezistenţa termică la straturi neomogene pe două direcţii: 1 - beton armat ; 2 - izolant termic.

- A_I, A_{II} .... suprafeţele straturilor componente considerate perpendiculare pe direcţia fluxului termic.

Calculul rezistenţei termice pe baza acestei expresii poate conduce, în anumite cazuri, la valori supraestimate. In acest caz se poate calcula rezistenţa termică pe baza coeficientului mediu de transmisie termică, definit de relaţia:

$$\lambda_{med} = \frac{\lambda_I \cdot A_I + \lambda_{II} \cdot A_{II} + \ldots}{A_I + A_{II} + \ldots} \qquad (75)$$

Rezistenţa termică perpendiculară ($R_\perp$) a elementului compus, se poate calcula cu expresia valabilă la structuri omogene după direcţia perpendiculară pe fluxul termic:

$$R_\perp = \frac{d}{\lambda_{med}} \qquad (76)$$

Dacă între $R_{\parallel}$ şi $R_\perp$ există o diferenţă de maxim 25 %, pe baza cercetărilor Prof. O. Vlasov, rezistenţa termică medie la transmisia prin conducţie (R) se poate estima cu expresia:

$$R = \frac{R_{\parallel} + 2 \cdot R_\perp}{3} \qquad (77)$$

Rezistenţa termică totală rezultă:

$$R_t = \frac{1}{K_t} = R_i + R + R_e \qquad (78)$$

La structuri de elemente neomogene pe două direcţii cu punţi (fig.20, calculul rezistenţei termice se poate obţine pe baza relaţiei aproximative (77) cunoscînd că $R_{\parallel}$ şi $R_\perp$ reprezintă rezistenţa termică la transmisia prin conducţie, în ipoteza alcătuirii din elemente orizontale de suprafaţă $A_I, A_{II}, A_{III} \ldots$ pentru cazul rezistenţei de calcul $R_{\parallel}$ şi respectiv din straturile 1,2,3, perpendiculare pe direcţia fluxului termic şi avînd grosimile d_1, d_2, d_3, în cazul rezistenţei de calcul $R_\perp$. Relaţiile ce intervin se prezintă sub formele:

$$R_{II}=\frac{A_I + A_{II} + \dots}{\frac{A_I}{R_I}+\frac{A_{II}}{R_{II}}}$$ în care: $$R_I=\frac{d_1}{\lambda_1}+\frac{d_2}{\lambda_2}+\frac{d_3}{\lambda_3} \qquad (79)$$

$$R_{II}=\frac{d_1 + d_2 + d_2}{\lambda_1} \qquad \lambda_1 \cong \lambda_3$$

$$R_{\perp}=\frac{d_1}{\lambda_1}+\frac{d_2}{\lambda_{med}}+\frac{d_3}{\lambda_3} \qquad (80)$$

iar rezistența totală :

$$R_t = R_i + \frac{R_{\parallel} + 2R_{\perp}}{3} + R_e \qquad (81)$$

1.8.2. Rezistența termică minimă în zona punții termice.

Pentru stabilirea rezistenței termice minime în zona punții termice se consideră că coeficientul maxim de transmisie termică $K_{o\ max}$, în ipoteza transmisiei plane a căldurii, prezintă valoarea cuprinsă între $K_o = K_{o\ min.}$, (Fig.21) valoare corespunzătoare zonei exterioare influenței punții termice și K'_o, valoare corespunzătoare lățimii geometrice b_p a punții termice, în ipoteza transmisiei liniare a căldurii în această zonă, conform expresiei:

$$K_{o\ max} = K_o + \eta_p (K'_o - K_o) \qquad (82)$$

Relația (82) poate fi transpusă astfel:

$$R_{o\ min} = \frac{1}{K_{o\ max}} = \frac{1}{K_o + \eta_p (K'_o - K_o)} \qquad (83)$$

Inlocuind în expresia (83) K_o prin $\frac{1}{R_o}$ și K'_o prin $\frac{1}{R'_o}$ se obține:

$$R_{o\ min} = \frac{R_o\ R'_o}{R'_o + \eta_p (R_o - R'_o)} \qquad (84)$$

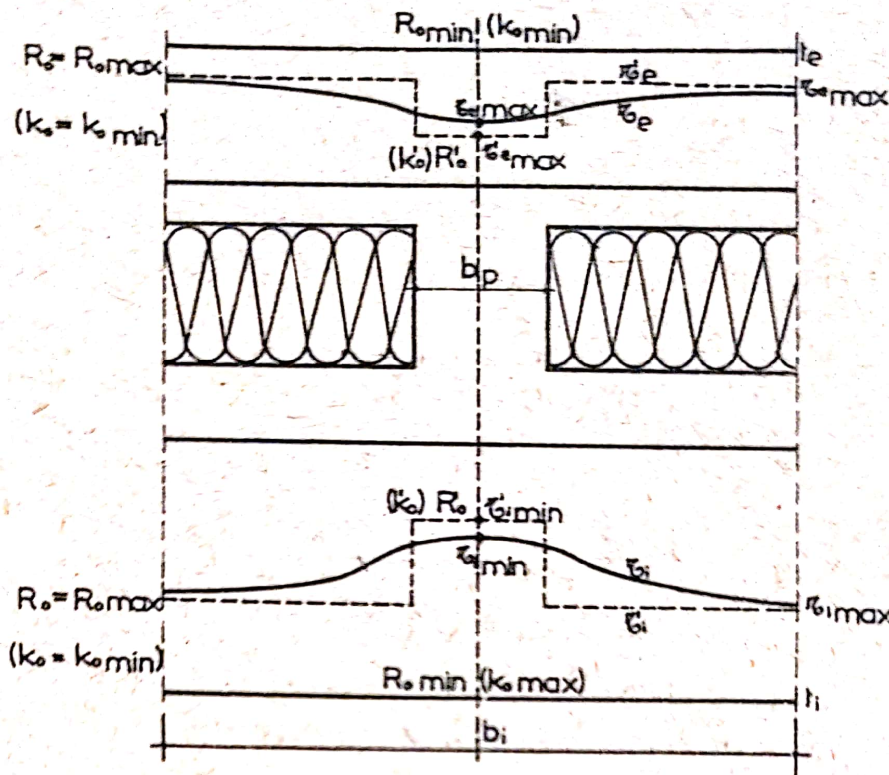


Fig.21. Rezistenţa minimă la structuri de pereţi cu punţi

R_o şi R_o' reprezintă rezistenţele la transmisia căldurii în zona curentă şi în dreptul punţii în ipoteza transmisiei liniare a căldurii.

Introducem notaţiile: $\frac{R_o}{R_{o\,min}} = \rho_m$ şi $\frac{R_o}{R_o'} = \rho_c$, care în-locuite în (84), ne permite să explicităm expresia coeficientului η_p.

$$\frac{R_{o\,min}}{R_o} = \frac{R_o'}{R_o' + \eta_p (R_o - R_o')} = \frac{1}{1+\eta_p \left(\frac{R_o}{R_o'} - 1\right)} =$$

$$= \frac{1}{1+\eta_p (\rho_c - 1)} \qquad \rho_m = 1+\eta_p (\rho_c - 1) \text{ şi deci } \eta_p = \frac{\rho_m - 1}{\rho_c - 1} \tag{85}$$

1.8.3. Determinarea cîmpului termic plan cu ajutorul diferențelor finite.

Practic pentru cazuri particulare ale ecuației(73), se poate folosi metoda diferențelor finite, care constă în înlocuirea derivatelor cu diferențe ce definesc funcția căutată prin valorile ei în diferite puncte. In acest scop domeniul cercetat se împarte într-o rețea și fixînd punctele în nodurile rețelei (fig.22) se obține un sistem de "n" ecuații algebrice liniare, "n", fiind numărul nodurilor rețelei.

Ecuația cîmpului termic plan se poate pune sub forma (82)

$$\lambda \cdot \frac{\Delta_x^2 t}{\Delta x^2} + \lambda \cdot \frac{\Delta_y^2 t}{\Delta y^2} = 0 \qquad (86)$$

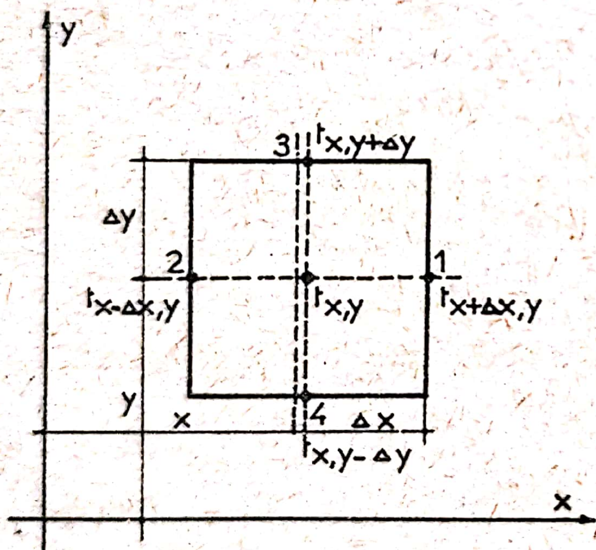


Fig.22. Rețea de calcul cu diferențe finite la probleme plane de transmisie în regim staționar.

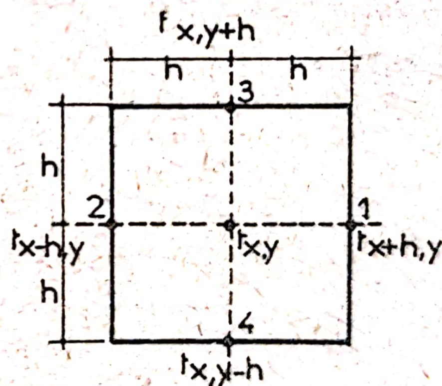


Fig.23. Rețea de calcul cu diferențe finite cu ochiuri egale

în care:

$$\Delta_x^2 t = (\Delta_x t)_1 - (\Delta_x t)_2 = (t_{x+\Delta x,y} - t_{x,y}) - (t_{x,y} - t_{x-\Delta x,y}) = t_{x+\Delta x,y} - 2t_{x,y} + t_{x-\Delta x,y}$$

$$\Delta_y^2 t = t_{x,y+\Delta y} - 2t_{x,y} + t_{x,y-\Delta y}$$

Ecuaţia Laplace, în diferenţe finite, la structuri omogene, rezultă:

$$\frac{t_{x+\Delta x,y}-2t_{x,y}+t_{x-\Delta x,y}}{\Delta x^2}+\frac{t_{x,y+\Delta y}-2t_{x,y}+t_{x,y-\Delta y}}{\Delta y^2}=0$$

Rezolvînd această ecuaţie în raport cu t_x, y se obţine:

$$t_{x,y}=\frac{\Delta y^2\left(t_{x+\Delta x,y}+t_{x-\Delta x,y}\right)+\Delta x^2\cdot\left(t_{x,y+\Delta y}+t_{x,y-\Delta y}\right)}{2\left(\Delta x^2+\Delta y^2\right)} \qquad (87)$$

In cazul unei reţele cu ochiuri egale după ambele direcţii (fig.23), considerînd $\Delta x = \Delta y = h$, se obţine:

$$t_{x,y}=\frac{t_{x+h,y}+t_{x-h,y}+t_{x,y+h}+t_{x,y-h}}{4} \qquad (88)$$

Relaţia(88)arată că temperatura într-un punct al domeniului studiat este media aritmetică a temperaturilor punctelor vecine. Această relaţie exprimă echilibrul termic al unui element din cîmpul considerat omogen, cu coeficientul de conductivitate şi coordonate x, y.

In cazul pereţilor din 2 materiale diferite, continuitatea lui este întreruptă. Temperatura într-un punct al reţelei (fig.24) în acest caz este dată de relaţiile (89 şi 90)

$$t_{x,y}=\frac{\lambda_{x,y,x+h}\cdot t_{x+h,y}+\lambda_{xy,x-h}\cdot t_{x-h}+\lambda_{xy,y+h}\cdot t_{x,y+h}}{\lambda_{xy,x+h}+\lambda_{xy,x-h}+\lambda_{xy,y+h}+\lambda_{xy,y-h}}+$$

$$+\frac{\lambda_{x,y,y-h}\cdot t_{x,y-h}}{\lambda_{xy,x+h}+\lambda_{xy,x-h}+\lambda_{xy,y+h}+\lambda_{xy,y-h}} \qquad (89)$$

$$t_{x,y}=\frac{(h_1+h_3)\left(\lambda_{xy,y-h_4}\cdot t_{x,y+h_4}+\lambda_{xy,y+h_2}\cdot t_{x,y+h_2}\right)}{(h_1+h_3)\left(\lambda_{xy,y-h_4}+\lambda_{xy,y+h_2}\right)+(h_2+h_4)\left(\lambda_{xy,x-h_3}+\lambda_{xy,x+h_1}\right)}+$$

$$+\frac{(h_2+h_4)\left(\lambda_{xy,x-h_3}\cdot t_{x-h_3,y}+\lambda_{xy,x+h_1}\cdot t_{x+h_1,y}\right)}{(h_1+h_3)\left(\lambda_{xy,y-h_4}+\lambda_{xy,y+h_2}\right)+(h_2+h_4)\left(\lambda_{xy,x-h_3}+\lambda_{xy,x+h_1}\right)} \qquad (90)$$

Relaţia (90) este valabilă în cazul utilizării unei reţele cu dimensiunile laturilor inegale (fig.25).

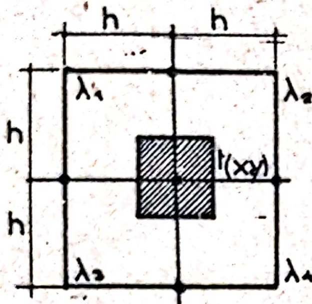


Fig.24.Reţea de calcul cu diferenţe finite la structuri neomogene.

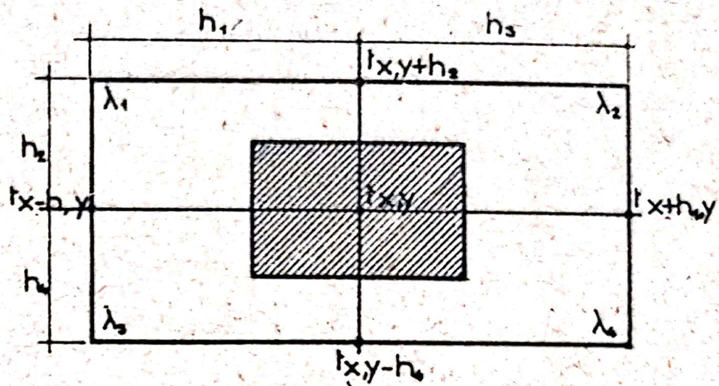


Fig.25. Reţea de calcul cu diferenţe finite la structuri neomogene cu ochiuri neegale.

In expresiile de mai sus s-a notat:

$$\Lambda_{xy,x-h}\ ;\ \Lambda_{xy,x+h}\ ;\ \Lambda_{xy,y-h}\ ;\ \Lambda_{xy,y+h}$$

coeficientul de permeabilitate termică la trecerea căldurii din punctul xy la cele patru puncte vecine:

- h_1, h_2, h_3, h_4, pasurile reţelei faţă de axele x,y.

Condiţiile la limită în diferenţe finite sînt următoarele:

- Temperatura aerului interior şi exterior constante (Dirichlet), care se exprimă $t_{i,e}$ = C.

- Fluxul de căldură transmis prin convecţie la suprafaţa interioară şi exterioară a elementului de construcţie este egal cu fluxul de căldură transmis prin conducţie pe grosimea "h" a pasului reţelei (condiţia Fourier), adică :

$$\lambda\cdot\frac{\tau_i-\tau_e}{h}=\alpha_i\cdot(t_i-\tau_i)\ \text{și}\ \lambda\cdot\frac{\tau_i-\tau_e}{h}=\alpha_e(\tau_e-t_e)$$

de unde:

$$\tau_i = \frac{\alpha_i\left(1+\alpha_e \cdot \frac{h}{\lambda}\right) \cdot t_i + \alpha_e \cdot t_e}{\alpha_i\left(1+\alpha_e \frac{h}{\lambda}\right) + \alpha_e} \quad ; \quad \tau_e = \frac{\alpha_e\left(1+\alpha_i \cdot \frac{h}{\lambda}\right) \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_i}{\alpha_e\left(1+\alpha_i \cdot \frac{h}{\lambda}\right) + \alpha_i} \qquad (91)$$

Schimbul de căldură prin conducţie pe suprafeţele transversale extreme ale elementului de construcţie este nul(condiţia Neumann), ceea ce presupune luarea în considerare a unui număr de noduri suficient de mare pînă la limitele zonei de influenţă a punţii termice unde liniile de flux termic sînt perpendiculare pe suprafaţa elementului.

Pe baza legii echilibrului termic, se scriu ecuaţiile prin diferenţe finite pentru fiecare nod al reţelei. Intr-o primă aproximaţie, se consideră temperaturile pentru cîteva secţiuni caracteristice, considerînd problema unidirecţională în ce priveşte transmisia căldurii şi prin interpolare se deduc temperaturile pentru celelalte ochiuri ale reţelei. Valorile exacte ale temperaturilor şi liniile izoterme se obţin după o serie de aproximaţii succesive ale ecuaţiilor cu diferenţe finite, continuîndu-se operaţiile pînă la aproximaţia dorită.

1.8.4. Modelarea matematică şi instalaţii analogice electrice.

Fenomenele din natură sînt în strînsă dependenţă unul de altul şi toate au la bază materia în mişcare, lege generală a universului.

Fenomenele termice, electrice, hidraulice, în diversitatea formelor sub care se prezintă, au trăsături comune, cauzate de legile generale ale mişcării.

In lucrarea sa " Materialism şi empiriocriticism" V.I.Lenin atrăgea atenţia, într-o surprinzătoare analogie a ecuaţiilor diferenţiale, privind diferitele domenii ale fenomenelor.

Cu alte cuvinte fenomene fizice din diferite domenii conduc la probleme care se rezolvă matematic prin aceeaşi ecuaţie.

Ne propunem să analizăm următoarele fenomene:

a. Trecerea căldurii printr-o bară de Cu datorită conductibilităţii sale termice.

Intre un vas cu apă fierbinte, fig.26, la $t_1=50^0 C$ şi al doilea vas cu apă rece 2, la $t_2 = 5^0 C$, se aşează timp de 60 minute, o bară de cupru, cu capetele în cele două vase, având $\ell = 20$ cm, $A=1 cm^2$.

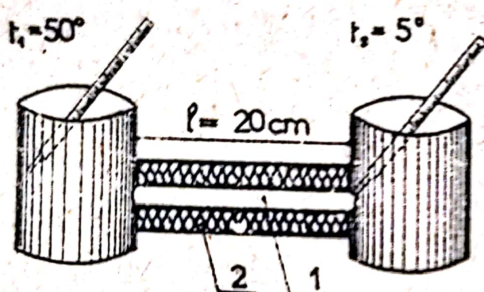


Fig.26. Transmisia căldurii prin conductivitate termică.
1- bară cupru; 2- material termoizolant. $A = 1$ cm^2; $\ell = 20$ cm, $t_1 = 50^0 C$; $t_2 = 5^0 C$; $T = 60$ min.;
$$\frac{Q}{T} = \frac{\Delta t}{R_T} \cdot T$$

Suprafaţa laterală a barei de cupru este acoperită cu material termoizolant. Cantitatea de căldură Q, ce trece prin bară, în calorii, pentru diferenţa de temperatură $t = t_1 - t_2$, în timpul T, rezistenţa termică fiind R_T, funcţie de dimensiunile barei şi conductivitatea termică specifică a materialului din care este alcătuită bara, e dată de expresia:

$$Q_T = \frac{\Delta t}{R_T} \cdot T \qquad (92)$$

In condiţiile datelor numerice ale experienţei Q_T =,108 calorii.

b. Filtrarea apei sub presiune printr-un tub cu nisip.

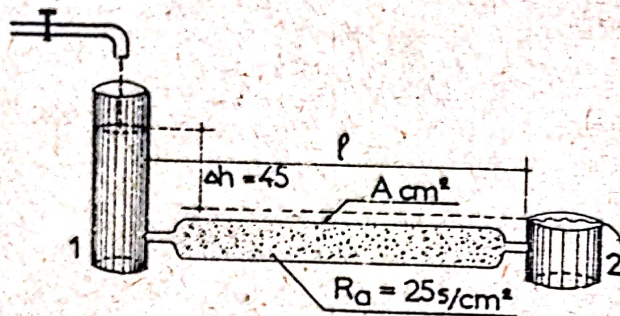


Fig.27. Filtrarea apei printr-un tub cu nisip.

Fie vasele 1 şi 2, fig.27, legate între ele printr-un tub plin cu nisip. In vasul 1 se toarnă permanent apă; astfel ca diferenţa de nivel dintre cele 2 vase să se menţină la Δh = 45 cm.

Rezistenţa hidraulică a tubului cu nisip, R_a proporţională cu lungimea "ℓ" a tubului şi invers proporţională cu aria "A" a secţiunii transversale este calculată şi egală cu R_c = 25 s/cm^2.

Cantitatea de apă ce se scurge în vasul 2, în timpul T minute, se calculează cu relaţia:

$$Q_c = \frac{\Delta h}{R_a} \cdot T \qquad (93)$$

In condiţiile numerice ale experienţei, Q_a = 108 cm^3

c. Cantitatea de electricitate ce trece printr-un circuit rezistiv.

Să considerăm un circuit alcătuit dintr-o sîrmă de nichel cu secţiunea A = 0,1 mm^2 şi să luăm o porţiune egală cu 1lmlungime. Potrivim la extrimităţile sîrmei de nichel o diferenţă de potenţial Δe = 45 V şi cu ampermetrul A aşezat în serie, măsurăm intensitatea curentului.

Rezistenţa porţiunii de circuit se calculează cu

expresia:

$$R_e = \rho \frac{\ell}{A} \qquad (94)$$

în care ℓ, lungimea sîrmei în m, A, secțiunea sîrmei în mm^2, ρ coeficientul de rezistență specifică electrică a nichelului. Fie $R_e = 25\ \Omega$.

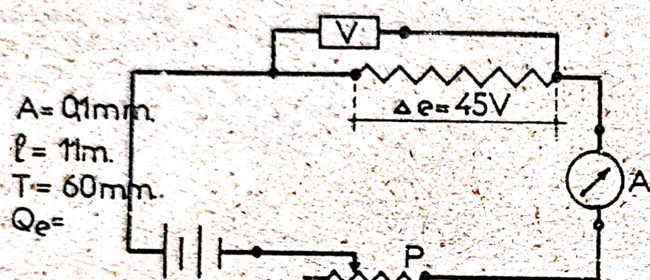


Fig. 28. Trecerea curentului electric printr-un circuit.

Cantitatea de electricitate ce trece prin circuit, timp de 60 minute, se calculează cu relația:

$$Q_e = \frac{\Delta e}{R_e} \cdot T = 208 \text{ coulombi} \qquad (95)$$

Cele trei probleme au la baza rezolvării teoretice aceeași expresie matematică, deoarece cele 3 relații se deosebesc numai prin indicele la care se referă fiecare proces.

Dintre cele 3 fenomene studiate experimental cel mai ușor se realizează circuitul electric care asigură și cea mai mare precizie la citirea intensității curentului.

Se constată că procese fizice diferite sînt descrise de legi matematice identice, iar calculul se poate înlocui prin măsurători pe model.

Pe cale experimentală, pe un model ușor de realizat în cadrul unui fenomen fizic, putem afla soluția unei probleme din cadrul altui fenomen fizic, cu condiția ca cele două fenomene să fie descrise de aceeași ecuație diferențială.

Identitatea exprimării matematice a fenomenelor analoge permite transpuneri utile pentru realizarea unor dispoziti-

ve şi instalaţii experimentale la care soluţia ecuaţiilor diferenţiale, bazate pe coordonate continui sau discrete se obţine prin măsurători de parametri, uşor accesibile laboratoarelor.

Modelul supus determinărilor se ~ice fizic, cînd este de aceeaşi natură cu obiectul studiat şi analogic cînd este de natură fizică diferită faţă de original.

Modelarea analogică se realizează sub formă de analogii directe (în care modelul păstrează asemănare geometrică cu domeniul modelat) şi analogii indirecte sau omologice (în care modelul nu mai este geometric asemenea cu domeniul modelat) şi mixte (în care sînt utilizate ambele posibilităţi).

1.8.5. Metoda analogiilor electrice pentru determinarea cîmpului termic.

Dificultăţile matematice privind soluţionarea ecuaţiilor diferenţiale care exprimă fenomenele termice, în tratarea lor ca probleme în anumite condiţii la limită, au condens la metode noi cu aplicaţii importante în fizica tehnică. Aceste metode denumite analogice, pleacă de la constatarea că fenomene fizice diferite se exprimă matematic prin aceleaşi ecuaţii diferenţiale, integrale sau algebrice.

Cercetarea caracteristicilor termice ale elementelor de construcţie pe baza analogiilor electrice este folosită în Franţa, U.R.S.S., etc. In R.S.România această metodă a fost abordată şi dezvoltată în cadrul catedrei de Construcţii de la Institutul Politehnic Iaşi (6,7,8,9,10).

In cazul analogiilor directe se are în vedere forma potenţială a fluxului termic, după Fourier:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{d}{\lambda} \cdot \frac{1}{S_m}} = \frac{\Delta t}{R} \qquad (96)$$

în care:

-Δt , diferența de temperatură ;

- d , grosimea peretelui ;

- S_m, suprafața medie a elementului prin care se transmite căldura;

-    , coeficientul de conductivitate termică a elementului de construcție;

- R, rezistența termică a peretelui la transmisia căldurii prin conducție.

Ecuația (96) prezintă o analogie completă cu ecuația intensității curentului electric continuu ce traversează o rezistență:

$$I = \frac{\Delta V}{\frac{\ell_e}{C_e} \cdot \frac{1}{S_m}} = \frac{\Delta V}{R_e} \qquad (97)$$

în care:

- I, curentul adică cantitatea de electricitate în unitatea de timp;

-ΔV, căderea de potențial de-a lungul rezistenței electrice R_e ;

- ℓ_e, lungimea conductorului;

- c_e, coeficientul de conductivitate electrică ;

- S_m, mărimea medie a secțiunii drepte a conductorului;

- R_e, rezistența electrică a circuitului.

In figura 29 se prezintă schema electrică a instalației de analogie directă, iar în figura 30 vedere generală a modelului electric în cuvă cu electrolit folosit la determinarea conductivității termice a cărămizilor și blocurilor ceramice cu găuri verticale (7).

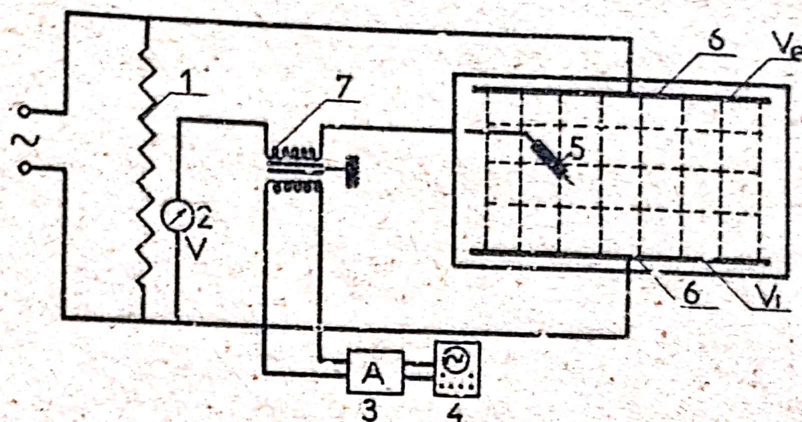


Fig.29. Schema electrică a instalaţiei de analogie electrică: 1- reostat; 2-voltmetru; 3-ampermetru; 4-osciloscop; 5- sondă; 6- electrozi; 7- transformator.

Luîndu-se ca bază conductivitatea termică a materialului ceramic λ_c = 0,70 Kcal/m.h.°C , s-a stabilit pe baza modelării analogice electrice expresia conductivităţii termice echivalente în funcţie de procentul de găuri verticale:

$$\lambda_{ech} = 0,65 - 0,80\, p \qquad (98)$$

în care:

- λ_{ech} , conductivitatea termică medie a materialelor ceramice cu găuri verticale, în Kcal/m.h.°C ;

- p , procentul volumului de găuri verticale, cuprins între 0,15 şi 0,40.

In cazul fenomenului termic plan, în regim staţionar, ce intervine la structurile neomogene cu punţi termice, analogia între fenomenul termic şi electric rezultă din reprezentarea cîmpurilor, termic şi electric prin ecuaţii diferenţiale identice (99 a şi 99 b) :

Fenomenul termic		Fenomenul electric	
$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y}\right) = 0$	(99 a)	$\frac{\partial}{\partial x}\left(C_e \frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(C_e \frac{\partial V}{\partial y}\right) = 0$	(99 b)

în care:

- x, y, coordonate spațiale
- t, diferența de temperatură;
- λ, conductivitate termică;
- $\frac{dt}{dx}$, gradient termic;

$q = \lambda \cdot \frac{t}{x}$ ds fluxul termic;

- t = const, linie izotermă

- x, y coordonate spațiale
- V, potențial electric;
- c_e, conductibilitate electrică
- $\frac{dV}{dx}$ gradient electric;
- $q = c_e \frac{dV}{dx}$ ds, flux electric;
- V=const. linie echipotențială

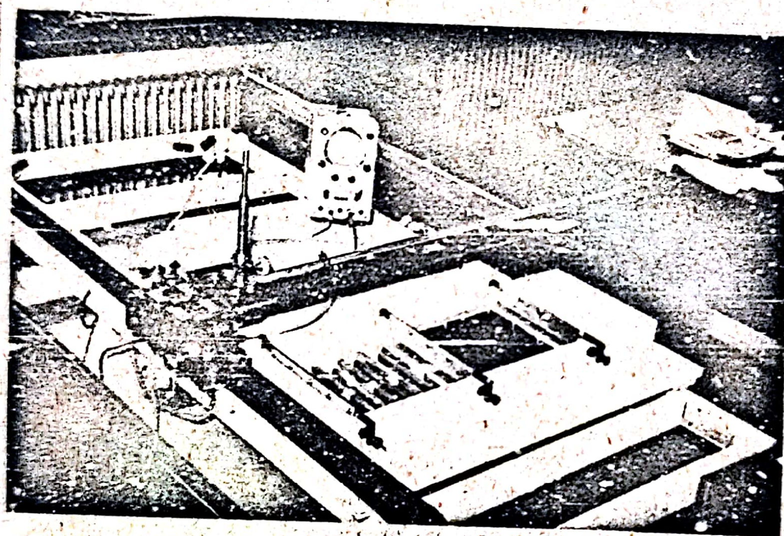


Fig.30.Cuva cu electrolit.

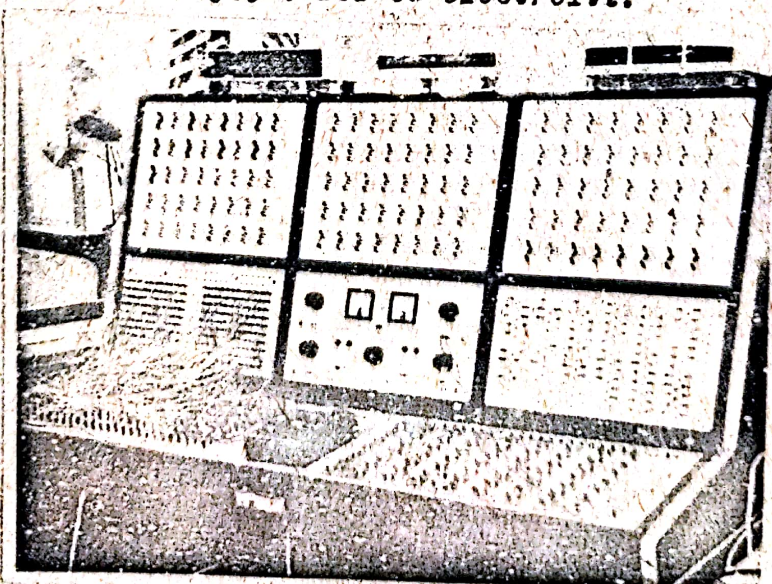


Fig.31.Instalație analogică cu rezistențe și capacități

In cazul cînd   şi respectiv c_e prezintă valori constante, ecuaţiile analoge sînt (100) :

$$\lambda \cdot \frac{d^2t}{dx^2} + \lambda \cdot \frac{d^2t}{dy^2} = 0 \; ; \quad C_e \cdot \frac{d^2V}{dx^2} + C_e \frac{d^2V}{dy^2} = 0 \qquad (100)$$

Ecuaţiile (100) stau la baza modelelor analogice indirecte realizate cu rezistenţe electrice, folosindu-se datele iniţiale obţinute prin împărţirea domeniului studiat în reţele finite.

Integrarea pe cale electrică a ecuaţiilor cu diferenţe finite presupune, în cazul fenomenelor termice, respectarea condiţiilor la limită indicate în 1.4.In fig.31 se prezintă vederea generală a instalaţiei analogice electrice cu rezistenţe variabile construită în laboratorul de Clădiri Civile de Institutul Politehnic Iaşi (9) şi în fig.32 schema electrică a instalaţiei.

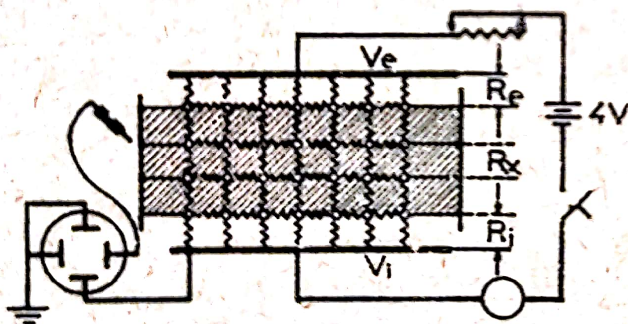


Fig.32.Schema electrică a modelelor electrice în reţea.

Valorile temperaturilor în nodurile reţelei modelate rezultă pe baza expresiei:

$$t = t_e + \frac{V_i - V_e}{100} \cdot V \quad (101)$$

făcînd să corespundă la diferenţa totală de temperatură $t_i - t_e$,diferenţa de potenţial electric $V_i - V_e$.

Pentru reprezentarea analogică a ecuaţiilor cu diferenţe finite în modelele indirecte cu rezistenţe electrice se are în vedere relaţia lui Kirchoff (fig.33):

$$\sum_{i=1}^{n} I_{oi} = \sum \frac{V_i - V_o}{r_{oi}} = 0 \qquad (102)$$

în care:

- r_{oi} , rezistența electrică între nodurile o și i;
- I_{oi} , intensitatea curentului între nodurile o și i ;
- $V_i - V_o$, diferența de potențial între nodurile o și i.

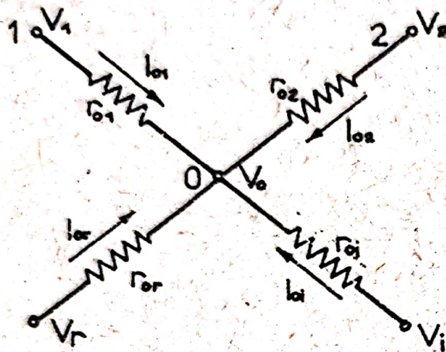


Fig.33.Nod într-o rețea electrică cu rezistențe.

Pentru a exemplifica metodologia de adoptat în vederea determinării caracteristicilor termice în zona punților, se consideră structura din anexa IV, alcătuită din stîlpi de beton armat de 10 . . 25 cm, înglobat în zidărie din blocuri ceramice cu 40% găuri verticale, de 25 cm, grosime(17).Caracteristicile termofizice ale materialelor se consideră pentru zidărie din blocuri ceramice $\rho = 1350$ Kcal/m^3, $\lambda=0,50$ Kcal/m.h.^{o}C și beton, $\rho = 2600$ Kcal/m^3, $\lambda= 1,40$ Kcal/m.h.^{o}C.Rezistența la schimbul superficial de căldură se ia $R_i = 0,143$ m^2.h.^{o}C/Kcal și la suprafața exterioară $R_e = 0,05$ m^2. h.^{o}C/Kcal.Cîmpul termic se determină pentru condițiile climatice din zona II,$t_e = - 15^oC$ și pentru $t_i = + 20^o C$.

Se consideră o rețea de calcul cu ochiul de 5 cm grosime pentru care se calculează valorile rezistențelor termice:

$$r_i = r_{1-2} = r_{9-10} = \cdots = r_{41-42} = \frac{1}{\alpha_i \cdot \Delta x} = \frac{0,143}{0,05} = 2,86.$$

$$r_e = r_{7-8} = r_{15-16} = \cdots = r_{47-48} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \Delta x} = \frac{0,05}{0,05} = 1,00.$$

$$r_b = r_{2-3} = r_{3-4} = \cdots = r_{6-7} = \frac{\Delta y}{\Delta x . \lambda_b} = \frac{0,05}{0,05 \times 1,40} = 0,72.$$

$$r_z = r_{18-19} = r_{19-20} = \cdots = r_{22-25} = \frac{\Delta y}{\Delta x \Delta_z} = \frac{0,05}{0,05 \cdot 0,50} = 2,00.$$

$$r_{zi} = r_{10-18} = r_{18-26} = \dots r_{34-42} = \frac{\Delta x}{0{,}5 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}5} = 400.$$

$$r_{bi} = r_{2-10} = \frac{\Delta x}{0{,}5 . \Delta y . \lambda_b} = \frac{0{,}05}{0{,}5 \cdot 0{,}05 \cdot 1{,}40} = 1{,}44.$$

$$r_{ze} = r_{15-20} = \dots = r_{39-47} = 400.$$

$$r_{be} = r_{7-15} = 1{,}44$$

Pentru fâşia de contact beton-zidărie, se calculează coeficientul de permeabilitate termică Λ pentru zidărie şi beton:

- zidărie:

$$\Lambda^z_{10-11} = \Lambda^z_{11-12} = \dots = \Lambda^z_{14-15} = \frac{0{,}5 \Delta x . \lambda_z}{\Delta y} = \frac{0{,}5 . 0{,}05 \cdot 0{,}5}{0{,}05} = 0{,}25$$

- beton:

$$\Lambda^b_{10-11} - \Lambda^b_{11-12} - \dots = \Lambda^b_{14-15} = \frac{0{,}5 \cdot \Delta x . \lambda_b}{\Delta y} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}05 \cdot 1{,}40}{0{,}05} = 0{,}70$$

Rezistenţa la transmisia termică rezultă:

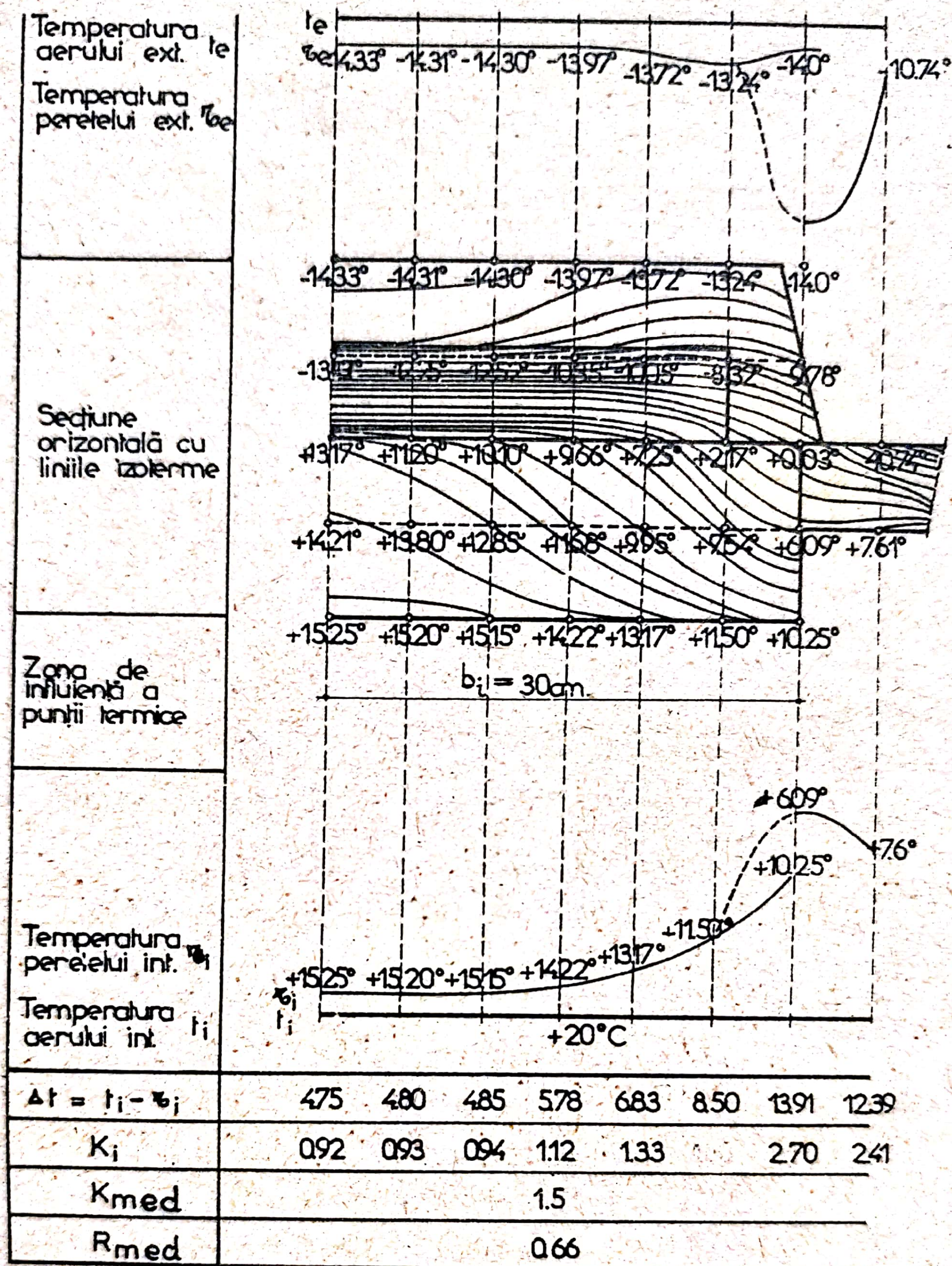
$$r_{bz} = r_{10-11} = r_{11-12} = \dots = r_{14-15} = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0{,}95} = 1{,}05$$

Rezistenţele electrice r' în ohmi, se calculează cu relaţia r' = m.r. în care "m" este un coeficient ce depinde de domeniul de rezistenţe electrice ce se pot stabili cu instalaţia de modelare analogică de care se dispune. Pentru instalaţia laboratorului de clădiri, cu rezistenţe în decade în domeniul 10...10.000Ω, m = 1000, pentru care s-au obţinut valorile rezistenţelor electrice:

$$r_i' = 2860\,\Omega\,;\ r_e' = 1000\,\Omega\,;\ r_b' = 720\,\Omega\ ;\ r_z' = 2000\,\Omega$$

Prin măsurarea potenţialelor electrice se obţin valorile temperaturilor din anexa IV, care permite cunoaşterea liniilor izoterme pe suprafaţa interioară τ_i şi exterioară τ_e .

Folosindu-se relaţiile (70), (71), (72) s-au determinat şi valorile coeficienţilor K_i maxim 2,10 Kcal/m^2.h.^{0}C şi minim 1,.7 Kcal/m^2.h.^{0}C şi respectiv valoarea coeficientului me-



$\Delta t = t_i - \tau_i$	4.75	4.80	4.85	5.78	6.83	8.50	13.91	12.39
K_i	0.92	0.93	0.94	1.12	1.33		2.70	2.41
K_{med}	1.5							
R_{med}	0.66							

Fig.34. Cîmpul termic în zona punţii la o fereastră.

diu de transmisie termică totală K_{med} = 1,57 Kcal/m^2.h.^{o}C sau valoarea rezistenţei medii totale la transmisia căldurii R_{med} = = 0,585.m^2.h.^{o}C/Kcal. Lăţimea totală a zonei de influenţă b_i a punţii termice a rezultat 0,80 m.

Pe această bază se poate determina cîmpul termic în zona

punților termice la ferestre (fig.34), colțuri, ramificații, intersecții de planșee și pereți.

Pentru calculul pierderilor de căldură la structuri cu punți se poate folosi ipoteza variației liniare a temperaturii în zona punților (fig.35), ceea ce simplifică calculele termice în cazul structurilor neomogene de pereți.

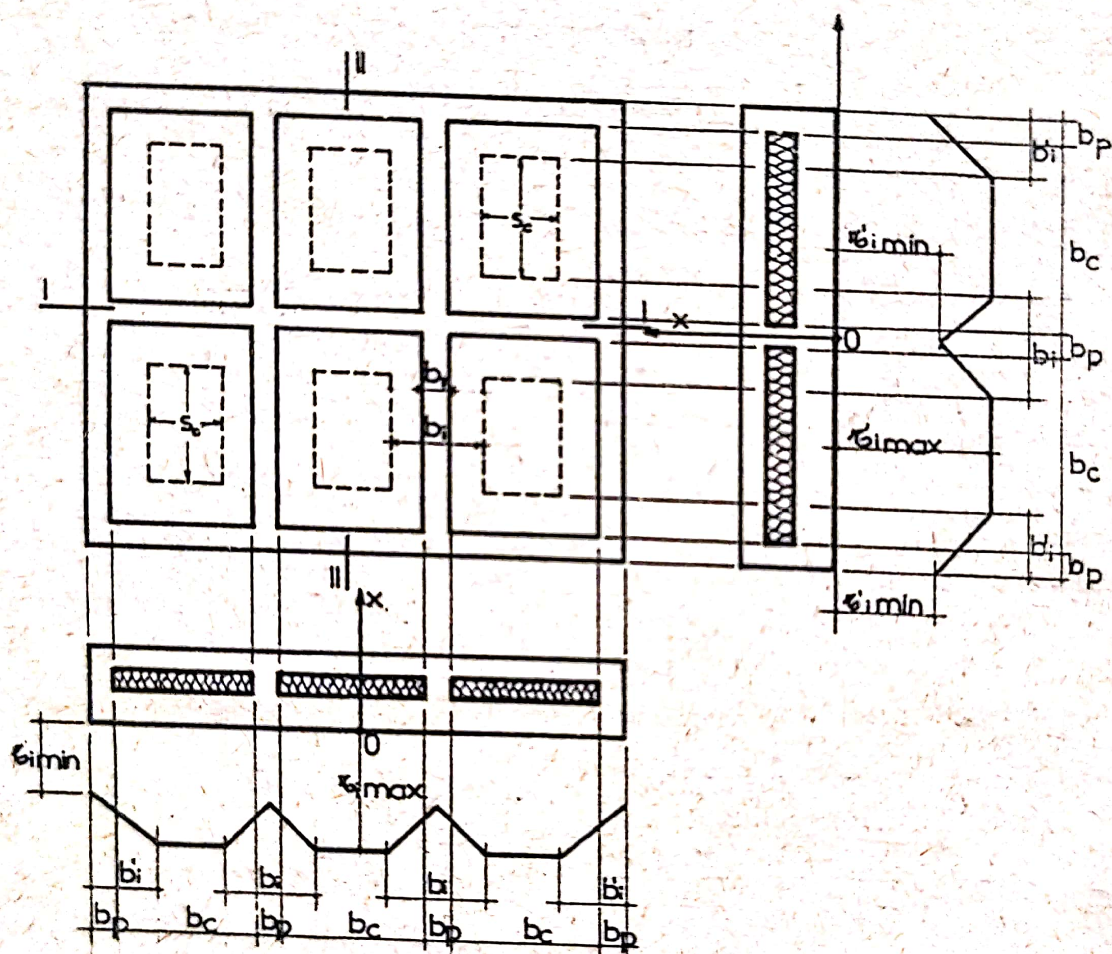


Fig.35. Calculul pierderilor de căldură la structuri cu punți.

Folosind valoarea coeficientului mediu de transmisie termică se pot estima pierderile de căldură, la structuri cu punți, cu ajutorul expresiei:

$$Q=\left[S_p \cdot K_{med}+\left(S-S_p\right) \cdot K_{min}\right] \cdot \Delta t. \qquad (103)$$

în care:

- S, suprafaţa totală a elementului de construcţie, în m^2;

- S_p, suprafaţa zonei cu transmisie termică neuniformă, calculată luînd în considerare lăţimea zonei de influenţă a punţii b_i, determinată prin analogie electrică şi ℓ_p lungimea punţii termice, în m;

- K_{med} şi K_{min}, coeficienţii mediu şi minim de transmisie termică în zona punţii;

- Δt, căderea de temperatură, conform condiţiilor din Republica Socialistă România.

1.8.6. Metode experimentale la construcţii în exploatare.

Pentru cunoaşterea şi verificarea comportării termice a clădirilor cu structuri noi de construcţii, a apărut necesitatea determinării cîmpului termic la clădiri în exploatare (6).

Determinarea cîmpului termic la construcţii în exploatare implică următoarele:

- aparatură pentru măsurarea temperaturilor şi etalonarea ei;

- măsurarea temperaturilor;

- trasarea izotermelor şi a cîmpului termic.

Pentru înregistrarea temperaturii aerului interior şi exterior se folosesc termografe înregistratoare (fig.36) şi pentru înregistrarea temperaturii suprafeţei elementelor de construcţie, potenţiometri cu mai multe canale (fig.37). Măsurarea locală a temperaturilor se poate realiza cu termocuple Cu-const. realizate din sîrmă de Const. cu d = 0,05..0,5 mm grosime şi de Cu de 0,4...0,5, luînd în considerare fenomenul termoelectric, ce se bazează pe faptul că la suprafaţa limită a două metale unite perfect (prin lipire cu cositor, sudare sau argintare) există

o tensiune de contact ce variază cu temperatura.

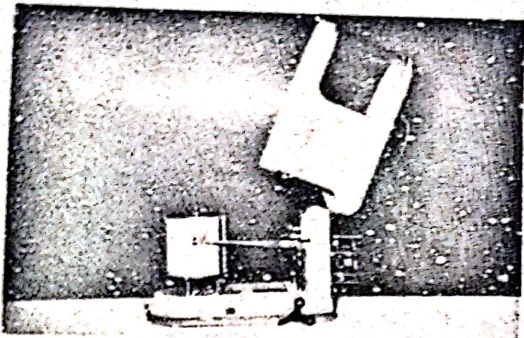


Fig.36.Termograf săptămînal

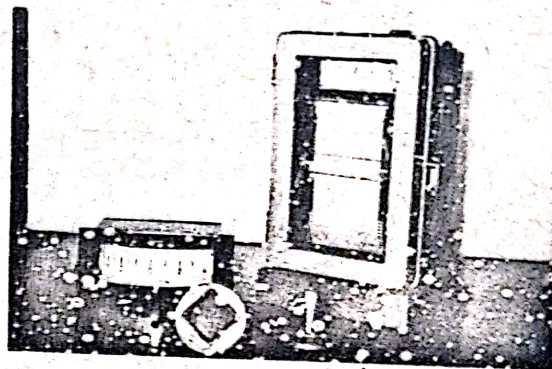
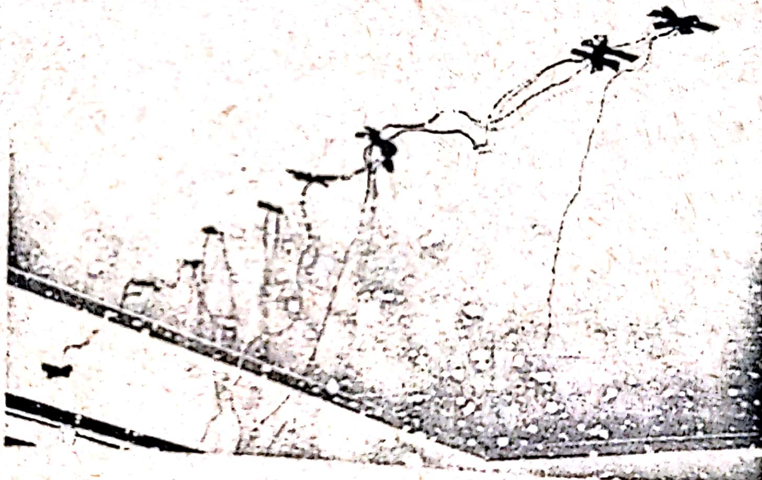
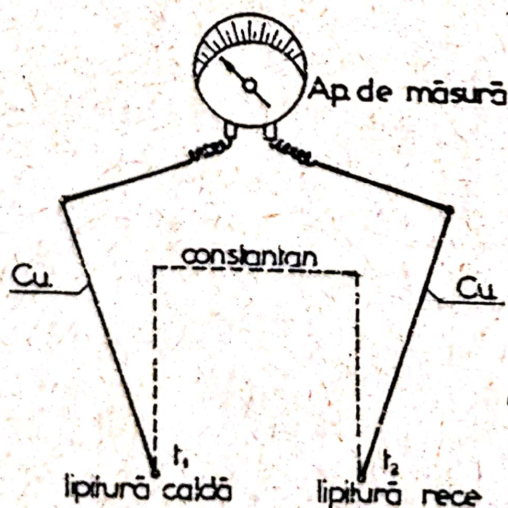


Fig.37.Potențometre cu mai multe canale

b.





a.

Fig.38. Termocuple
a) Schemă. b) Montat

Prin formarea unui circuit, fig.38, dacă lipiturile L sînt la temperaturi diferite (t_1, t_2) ia naștere un curent a cărui forță termoelectromotoare este funcție de diferența de temperatură între lipituri: $E = f(t_1, t_2)$. In fig.39 se prezintă instalația experimentală bazată pe folosirea termocuplelor,

care permite măsurarea diferenţei de temperatură între elementul de construcţie t_1 şi o temperatură de referinţă t_2.

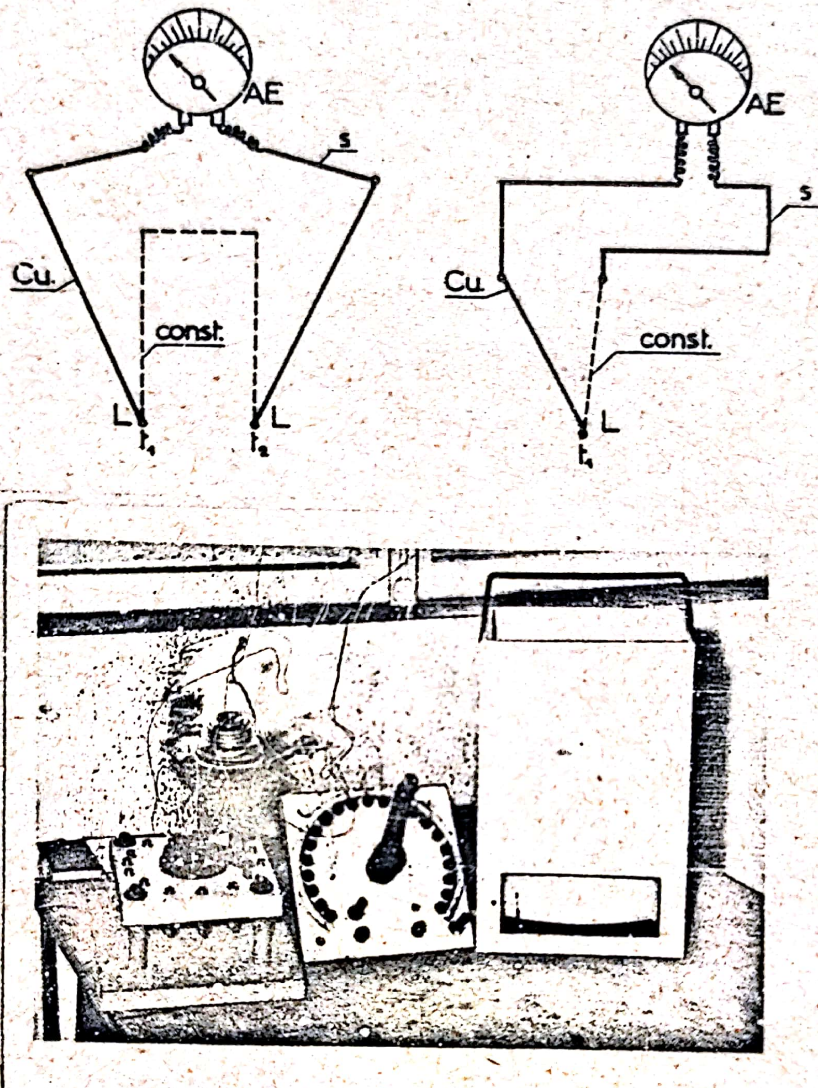


Fig.39. Schema de montare şi vedere generală a termocuplelor montate: a)conectare diferenţială; b) conectare la lipitura rece; AE-Galvanometru; Cu - Cupru; Const.-constantan; s-sîrmă de conexiuni; L-lipitură sau sudură.

Variaţia temperaturii în timp a elementelor de construcţie se poate obţine prin înglobarea termocuplelor de măsurare după schema din figura 40-a, în cazul montării la execuţie

şi după schema din fig.40-b, în cazul instalării traductorilor după realizarea elementului de construcţie. Se are în vedere în acest caz necesitatea ca termocuplul să reflecte cît mai fidel temperatura planului în care este montat, ceea ce se obţine mai uşor în primul caz.

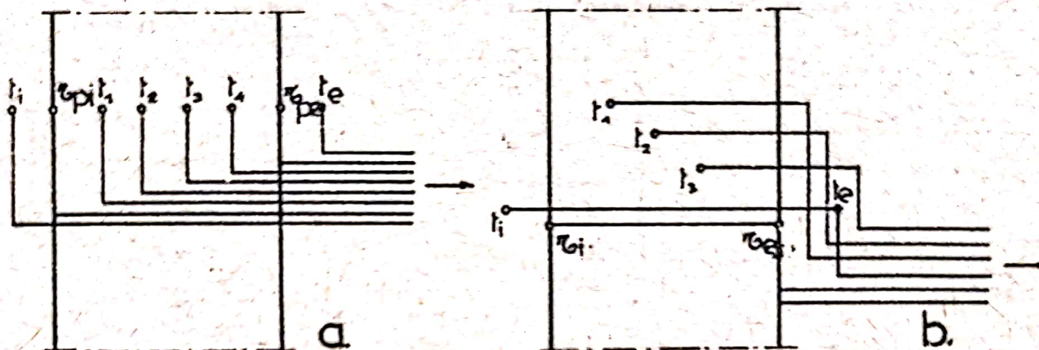


Fig.40. Montarea termocuplelor pentru măsurarea temperaturilor în elemente de construcţie: a) Termocuple montate la execuţia peretelui ; b) Termocuple montate după execuţia peretelui ; ⟶ spre comutator.

Folosind aceste dispozitive se pot face determinări ale cîmpului termic la clădiri în exploatare, cum este cazul unui perete din panouri mari de beton armat la o clădire de locuit (fig. 40). Reprezentarea grafică a izotermelor pe suprafaţa interioară a elementului de construcţie scoate în evidenţă caracterul neuniform al cîmpului termic datorită neomogenităţii constructive, a neetanşeităţii tîmplăriei şi a efectului local al elementelor de încălzire.

1.8.7. Transmisia căldurii prin pereţi în condiţii de vară.

In condiţii de vară acţionează asupra elementelor de construcţii (pereţi şi terase), radiaţia solară. Radiaţia solară de energie R (exprimată în $Kcal/m^2.h$, fig.41, este parţial reflectată ϱR , şi parţial absorbită de elementul de construcţie,

αR, din care o parte este transmisă la interior $\alpha_i R$ şi o altă parte spre exterior α_e R.Ecuaţia de bilanţ termic este:

$$R = \rho R + \alpha R \quad \text{şi deci} \qquad (104)$$

$$1 = \rho + \alpha \qquad (105)$$

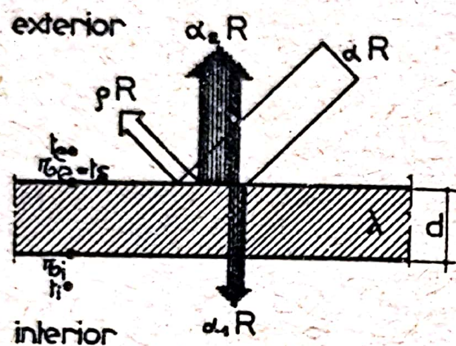


Fig.41.Absorbţia şi reflexia căldurii de către elementul de construcţie: ρR - energia radiaţiei solare incidente; αR - energia radiaţiei solare reflectată; αR - energia absorbită şi transmisă la interior (α_1 , R) şi transmisă la exterior (α_2 R).

Temperatura suprafeţei exte- τ_e a elementului de construcţie, datorită efectului de radiaţie este superioară temperaturii aerului exterior $t_s = \tau_e > t_e$, fig.42, t fiind temperatura aerului exterior. Energia αR absorbită de către elementul exterior de construcţie, perete sau terasă, este disipată spre exterior prin convecţie şi radiaţie de mari lungimi de undă şi prin conducţie traversînd elementul de construcţie spre interior.

Energia disipată spre exterior este dată de expresia:

$$\tau_e(\tau_e - t_e) \qquad (106)$$

Energia transmisă spre interior se calculează cu relaţia:

$$q = \alpha R - \alpha_e (\tau_e - t_e) \qquad (107)$$

Relaţia fluxului de căldură transmis prin conducţie prin elementul de construcţie este:

$$q = \frac{\lambda}{d}(\tau_e - \tau_i) \qquad (108)$$

Fluxul de căldură radiat de perete, prin convecție, spre interior se prezintă sub forma:

$$q = \alpha_i (\tau_i - t_i) \qquad (109)$$

In expresia de mai sus τ_i şi t_i reprezintă respectiv temperatura suprafeței interioare a elementului de construcție şi temperatura aerului interior.

Punîndu-se în evidență rezistențele termice, în relațiile de mai sus, se obține:

$$q = \frac{\frac{\alpha R}{\alpha_e} - \tau_e + t_e}{\frac{1}{\alpha_e}}$$

$$q = \frac{\tau_e - \tau_i}{\frac{d}{\lambda}} \qquad (110)$$

$$q = \frac{\tau_i - t_i}{\frac{1}{\alpha_i}}$$

Adunînd numărătorii şi numitorii şirurilor de fluxuri egale, rezultă:

$$q = \frac{\alpha R/\alpha_e + t_e - t_i}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} \qquad (111)$$

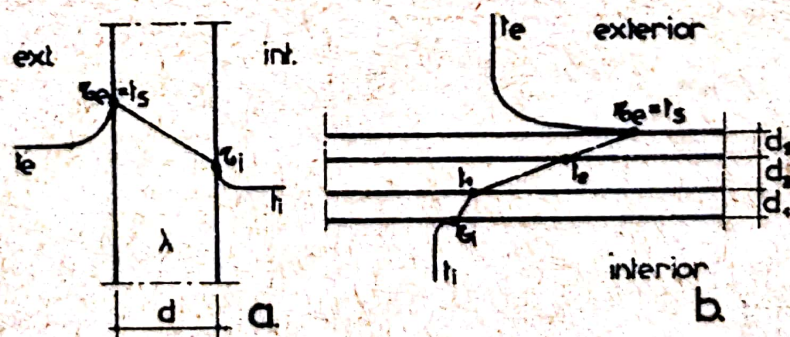


Fig.42. Temperatura suprafeței exterioare a elementului de construcție în condiții de vară.a) pereți ; b) terasă.

Termenul de la numitor exprimă rezistența totală la transmisia căldurii 1/K, ceea ce permite a se scrie:

$$q = K\left[t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} - t_i\right] \qquad (112)$$

Expresia (112) este identică cu aceea obținută în absența acțiunii soarelui, t_e fiind înlocuit cu termenul $(t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e})$, denumit temperatură fictivă echivalentă a suprafeței exterioare şi se notează cu t_s.

Dacă peretele ar fi infinit izolant termic, teoretic $K = 0$, iar q ar fi nul şi deci

$$\alpha R - \alpha_e (\tau_e - t_e) = 0 \qquad (113)$$

de unde:

$$\tau_e = t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} = t_s \qquad (114)$$

"t_s" se poate obține măsurînd cu suficientă precizie temperatura de suprafață a elementelor de construcție în condiții reale de exploatare.

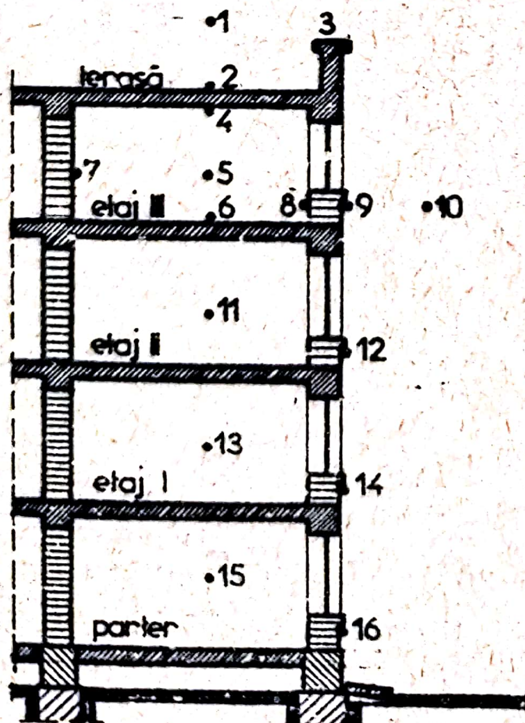


Fig.43.Schema clădirii cu măsurarea temperaturii.

In fig.43. se prezintă schema cu poziția punctelor de măsurare a temperaturii, în vara anului 1968, la Iaşi, a unei clădiri social-administrative cu P + 3 nivele. Clădirea prezintă o structură cu pereți portanți din zidărie eficientă de 30 cm grosime şi terasă cu izolație din praf hidrofob cu

rezistența termică totală $R_o = 1,533\ m^2.h.^oC/Kcal.$

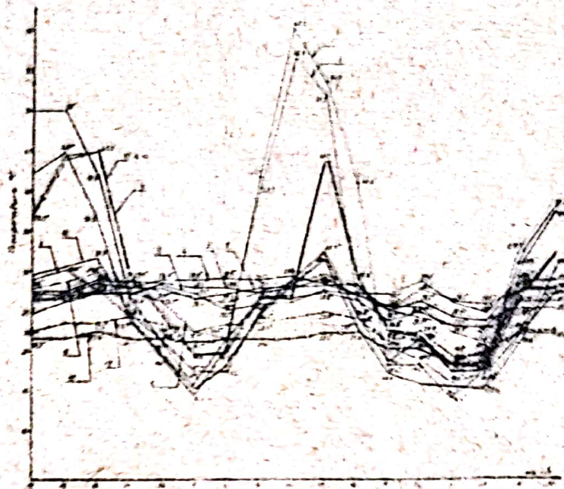


Fig.44. Variația temperaturii unei construcții cu structură din pereți portanți din zidărie de cărămidă și terasă neagră în condiții de vară. 1- temperatura aerului exterior; 2- temperatura exterioară a terasei; 3- Temperatura aticului; 4- Temperatura tavanului terasei; 5,11,13,15 - temperaturile aerului interior la etaj III,II,I, parter; 6- temperatura pardoselii la etaj III; 7- temperatura peretelui interior la etaj III; 8- Temperatura suprafeței interioare a peretelui exterior etaj III; 10- Temperatura aerului exterior; 9,12,14,15 - Temperatura exterioară a peretelui exterior.

In fig.44 se prezintă variația temperaturii aerului interior, a aerului exterior și a diferitelor puncte ale suprafețelor interioare ale elementelor de construcții, care poate fi asimilată ca o variație periodică sinusoidală.

Valorile temperaturilor aerului interior, cresc pe verticală, fig.45, fiind maxime la ultimul nivel 29,3°C, în cazul terasei de culoare albă, constatîndu-se valori care depășesc cele admise din punct de vedere al confortului (24°C....26°C). Valorile temperaturilor suprafețelor exterioare ale elementelor de construc-

ţie au rezultat între $60^0 C$ şi $70^0 C$. Admiţînd pentru $t_s = 70^0 C$, pentru terasa neagră, $t_{te} = 30^0 C$, $\alpha_e = 15\ Kcal/m^2.h.^0C$ şi considerînd pentru coloarea 0,9 (pentru suprafaţa terasei aproape neagră) rezultă valoarea lui R ce caracterizează radiaţia solară în condiţiile oraşului Iaşi.

$$70 = 30 + \frac{0,9\ R}{15} \quad ; \quad R = \frac{600}{0,9} = 666\ Kcal/m^2.h$$

Valorile coeficientului α depind de culoarea suprafeţei elementului de construcţie astfel:

- alb $\alpha = 0,2..0,3$
- galben, portocaliu, roş clar $\alpha = 0,3..0,5$
- roş închis, verde clar, albastru clar $\alpha = 0,5..0,7$
- cafeniu, verde închis, albastru viu, albastru închis. $\alpha = 0,7..0,9$
- cafeniu închis, negru $\alpha = 0,9..1,0$

Presupunînd culoarea albă pentru pereţi şi luînd pentru α valoarea medie 0,25, temperatura t_s a suprafeţei exterioare a elementului de construcţie fiind $40^0 C$, rezultă astfel valoarea lui R :

$$t_s = 40 = 30 + \frac{0,25\ R}{15} \qquad R = 600\ Kcal/m^2.h$$

In cazul culorii albe a suprafeţei exterioare a elementelor de construcţie, cantitatea de radiaţie solară rezultă de acelaş ordin ca şi în cazul acoperişului terasă de culoare neagră.

Cunoscînd că între ρ şi α există relaţia $\rho + \alpha = 1$ rezultă că energia reflectată este 0,75 R în cazul culorii deschise în comparaţie cu 0,1 R în cazul culorii închise.

Măsurătorile de temperatură efectuate la o construc-

ţie din Iaşi, în timp de vară cu terasă neagră, protejată prin strat de protecţie cu emulsie bituminoasă a condus la amplitudini ale temperaturii suprafeţei exterioare ale terasei de 38,70°C, în comparaţie cu valoarea de 14,3°C, în cazul terasei de culoare albă.

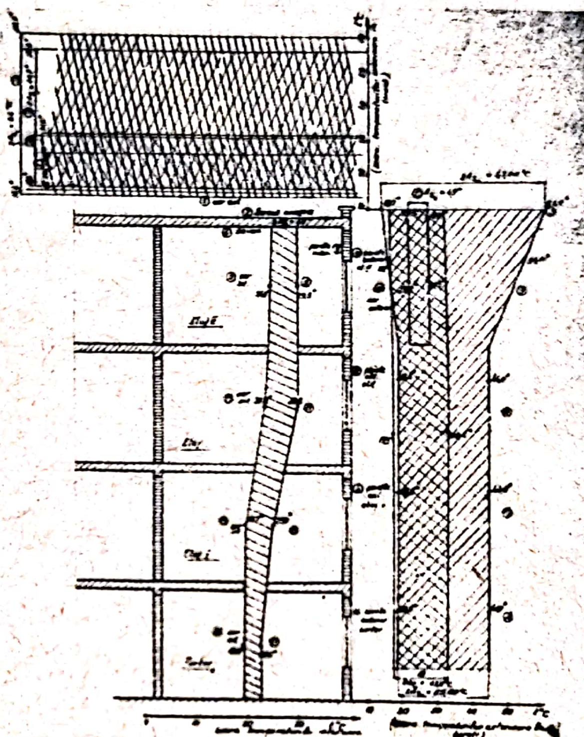


Fig.45. Acţiunea radiaţiei solare asupra confortului termic la o clădire cu structură din ziduri portante cu terasă cu praf hidrofob şi 3 nivele. 1 - Temperatura aerului exterior ; 2 - Temperatura terasei la exterior (neagră) ; 3 - Temperatura aticului ; 4 - Temperatura tavanului terasei; 5,11,13,15 - Temperaturile aerului interior la etajele III,II,I, parter ; 8 - Temperatura peretelui exterior la interior la etaj III ; 10 - Temperatura aerului exterior ; 9,12,14,16 - Temperaturile peretelui exterior la exterior.

Culoarea albă s-a obţinut prin tratarea stratului de emulsie bituminoasă cu lapte de var. Rezultă importanţa practică pe care o prezintă culoarea suprafeţelor exterioare ale elementelor de construcţie asupra diferenţelor temperaturilor totale la care sînt supuse şi asupra confortului încăperilor, în special la ultimul etaj.

1.8.8. Transmisia căldurii prin ferestre în condiții de vară.

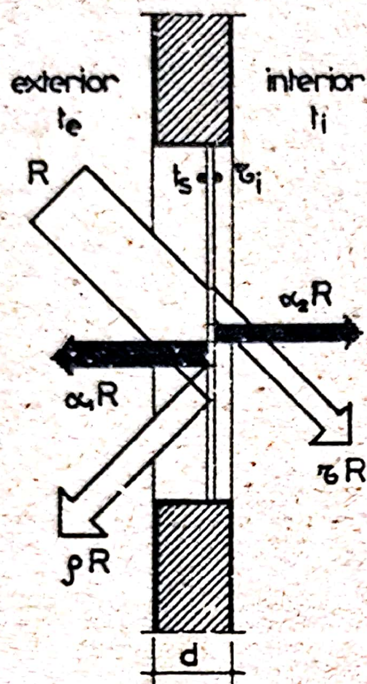


Fig.46. Transmisia căldurii prin ferestre; R - radiația solară incidentă; $\alpha_1 R$ energia absorbită și radiația la exterior; $\alpha_2 R$ - energia absorbită și radiată la interior; ρR - energia solară reflectată; τR - energia solară transmisă prin transparență.

In cazul ferestrelor intervin fenomene de absorbție, reflexie și de transparență a energiei datorită radiației solare, ce caracterizează formele energiei radiante, exprimate prin coeficienții de absorbție α, reflexie ρ, și transparență τ, fig.46. Valorile acestor coeficienți pentru sticla obișnuită sînt egali respectiv cu 7%, 8% și 85%.

Schimburile termice ce intervin în cazul ferestrelor cuprind:

- Reflexia spre exterior a unei părți din energia radiației solare, exprimată prin termenul ρR.

- Absorbția radiației solare de către fereastră, fenomen similar peretelui opac, exprimată prin termenul αR, din care $\alpha_1 R$ este disipată spre exterior $\alpha_2 R$ este disipată spre interior.

Fluxul termic ce pătrunde în încăpere se poate exprima astfel:

$$K\left[\overbrace{\left(t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e}\right)}^{t_s} - t_i\right] \qquad (115)$$

- Restul energiei termice datorită radiației solare τR (în proporție de 85 % în cazul sticlei transparente obișnuite) traversează fereastra și după cîteva reflexii parțiale succesive este practic absorbită de pereți și obiectele din încăpere.

Fluxul termic total care pătrunde în încăpere poate fi exprimat astfel cu ajutorul expresiei:

$$q = K\left[\left(t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e}\right) - t_i\right] + \tau R \qquad (116)$$

Relația 116 se poate pune și sub forma:

$$q = \left(\frac{\alpha R}{\alpha_e} + \tau\right)R + K\left(t_e - t_i\right) \qquad (117)$$

Factorul $\frac{\alpha K}{\alpha_e} + \tau$ este denumit factorul solar al ferestrei și se notează cu S. Relația 117 se mai poate pune astfel sub forma:

$$q = SR + R\left(t_e - t_i\right) \qquad (118)$$

Pentru sticla obișnuită valoarea factorului solar S, este egală cu 0,86. Folosind sticla colorată factorul solar S poate coborî la valorile 0,49..0,66, iar τ între 0,21 și 0,50.

In cazul folosirii storurilor lamelare, valoarea factorului solar scade la 0,17, iar prin folosirea perdelelor ușor transparente la 0,11 , ceea ce demonstrează eficiența unor măsuri pentru limitarea aportului de căldură prin radiație, în condiții de vară și asigurarea confortului la încăperile cu orientarea vest și sud și sud-vest.

2. Transmisia căldurii prin conducție în regim nestaționar.

In regim nestaționar, densitatea fluxului de căldură din stratul dx considerat este variabilă și se determină luînd

diferenţiala lui q în raport cu x, ceea ce conduce la expresia:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \qquad (119)$$

Variaţia densităţii fluxului de căldură depinde de capacitatea de acumulare sau de cedare a căldurii de către materialul de construcţie din care este alcătuit elementul. Cantitatea de căldură dq, necesară pentru creşterea temperaturii stratului dx, cu dt grade, în intervalul de timp dT, este proporţională cu capacitatea de acumulare termică a stratului şi cu variaţia temperaturii în timp, conform relaţiei:

$$dq = -c \cdot \varrho \cdot dx \cdot \frac{\partial t}{\partial T} \qquad (120)$$

în care:

- c, coeficientul de căldură specifică a materialului în Kcal/Kg.°C sau W/Kg.°C, având valoarea pentru materiale curente 0,22 Kcal/Kg.°C sau 920 W/Kg. °C ; ϱ, greutatea specifică aparentă a materialului în Kgf/m^3.

Din relaţia 120 rezultă:

$$\frac{dq}{dx} = -c \cdot \varrho \cdot \frac{\partial t}{\partial T} \qquad (121)$$

Variaţia fluxului de căldură se datoreşte acumulării termice în stratul considerat, astfel încît luînd în considerare relaţiile (119) şi (120), se poate scrie:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = \frac{\lambda}{c \cdot \varrho} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \qquad (122)$$

în care :

- a, coeficientul de difuzivitate termică în m^2/h.

Expresia (122) caracterizează variaţia temperaturii în elementele de construcţie, în regim nestaţionar, în cazul transmisiei căldurii după o direcţie.

Semnificaţia fizică a coeficientului " a " constă în caracterizarea vitezei de egalare a temperaturii în diferite puncte ale mediului în care are loc propagarea căldurii.

In cazul fenomenelor termice plane caracterizate prin transmisia căldurii pe două direcţii, ecuaţia căldurii se prezintă astfel:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (123)$$

La transmisia căldurii după trei direcţii, în spaţiu, ecuaţia privind variaţia temperaturii în timp, în regim nestaţionar se prezintă astfel:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (124)$$

Cunoaşterea caracteristicilor termice a elementelor de construcţie, în regim nestaţionar, presupune integrarea ecuaţiilor (122), (123), (124) în condiţii la limită ce interesează practic. Deoarece rezolvarea pe cale analitică a integrării acestor ecuaţii este imposibilă, se folosesc următoarele posibilităţi:

- criterii aproximative;
- calculul cu diferenţe finite;
- metode analogice electrice.

2.1. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcţie în regim nestaţionar.

2.1.1. Capacitatea de asimilare a căldurii la suprafaţa elementelor de construcţie.

Reducerea masei pereţilor, adoptarea acoperişurilor terasă, folosirea materialelor grele şi uşoare la elemente cu structuri mixte, influenţa radiaţiei solare asupra suprafeţelor exterioare

a elementelor de construcţie fac actuală ipoteza regimului nestaţionar la studiul termic al elementelor de construcţie. In acest caz prezintă importanţă proprietatea suprafeţelor materialelor de a absorbi şi ceda căldura, ca urmare a variaţiilor periodice ale fluxului termic şi a temperaturii aerului.

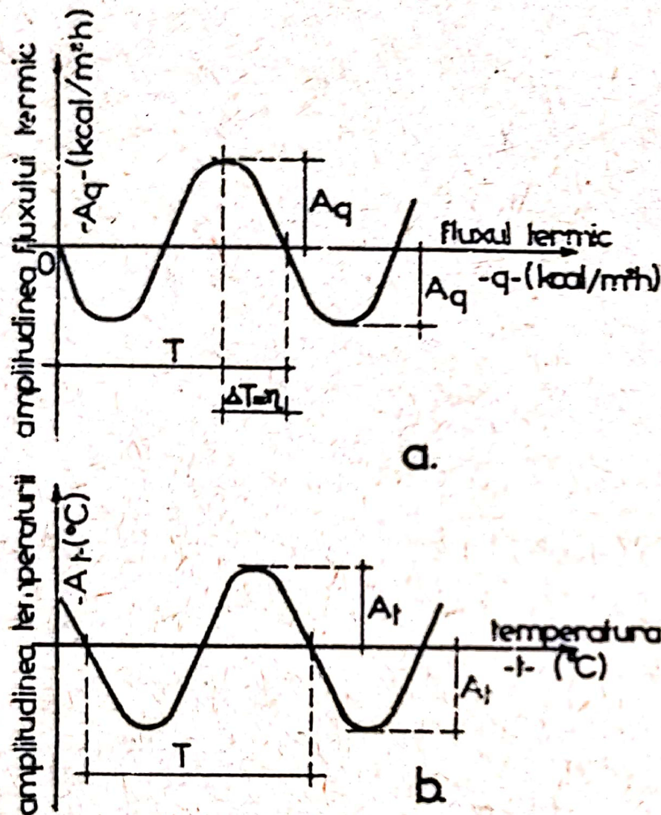


Fig.47. Oscilaţiile sinusoidale ale fluxului termic şi ale temperaturii elementelor de construcţie.

Măsurători termice la construcţii în exploatare justifică ipoteza variaţiei sinusoidale a fluxului de căldură şi a temperaturii suprafeţelor elementelor (fig.47, fenomen ce poate fi considerat cu perioada de o zi, o lună sau un an. Sub acţiunea variaţiei fluxului de căldură q, de amplitudine A_q, are loc variaţia temperaturii t a suprafeţei elementului de construcţie, cu amplitudinea A_t, ce depinde de caracteristicile termofizice ale materialelor din care sînt alcătuite elementele. Coeficientul de absorbţie a căldurii S, exprimat în Kcal/m². h.°C, caracterizează asimilarea căldurii la suprafaţa materialelor şi este definit de raportul:

$$S = \frac{A_q}{A_t} = \frac{q_{max} - q}{t_{max} - t} \qquad (125)$$

Diferenţele $q_{max} - q$ şi $t_{max} - t$ caracterizează variaţia fluxului termic şi a temperaturii. Coeficientul de asimilare

termică S depinde de conductivitatea termică a materialului, de căldură specifică c, greutatea aparentă specifică ρ şi perioada T. Pentru T = 24 ore, expresia coeficientului de absorbţie S se prezintă sub forma:

$$S_{24} = \sqrt{\frac{2\pi}{T} . \lambda . c . \rho} = 0,51 \cdot \sqrt{\lambda . c . \rho} \qquad (126)$$

La materialele termoizolatoare valorile coeficientului S sînt mici, iar la materialele grele cu valori mari pentru λ şi ρ, valorile S sînt mari. Valorile coeficientului de asimilare termică S_{24} sînt cuprinse între 0,31 Kcal/m^2.h.^{o}C (polistiren expandat) şi 301 Kcal/m^2.h.^{o}C (tablă de cupru), conform datelor din anexa 1 şi reflectă caracteristicile materialelor termoizolante şi a materialelor de mare permeabilitate termică.

2.1.2. Indicele inerţiei termice.

Pentru aprecierea capacităţii de acumulare şi cedare a căldurii de către elementele de construcţie, s-a introdus noţiunea indicelui de inerţie termică D, ce caracterizează numărul undelor de temperatură ce pătrund în grosimea elementului de construcţie, definit de expresia:

$$D = R . S \qquad (127)$$

în care:

- $R = \frac{d}{\lambda}$, rezistenţa la permeabilitate termică a elementului omogen de construcţie, în m^2.h.^{o}C/Kcal;
- S, coeficientul de asimilare termică a materialului în Kcal/m^2.h.^{o}C.

La elemente de construcţie în mai multe straturi, expresia indicelui de inerţie termică devine:

$$D = \sum_{K=1}^{n} R_K . S_K \qquad (128)$$

în care: R_k și S_k prezintă rezistența și respectiv coeficientul de asimilare termică a unui strat curent K, al structurii compuse.

Indicele D al inerției termice caracterizează masivitatea și deci capacitatea de acumulare termică a elementului de construcție. Se consideră că masivitatea unui element este mică dacă $D<4$, medie dacă $D = 4...7$ și mare dacă $D>7$.

2.1.2. Amortizarea oscilațiilor termice.

O exprimare mai cuprinzătoare a inerției termice este prezentată de Sklover A.M. (21), Georgescu S. și alții (12), Fr.Eichler (3,4,5). După acești autori, raportul între amplitudinea oscilației termice pe suprafețele elementului de construcție (fig.48) caracterizează capacitatea de acumulare și cedarea căldurii în regim nestaționar și influențează variațiile de temperatură ale aerului interior. Dacă inerția termică a elementului de construcție este mare, amplitudinile temperaturii aerului interior sînt mai mici, în comparație cu amplitudinile temperaturii aerului exterior sau ale suprafeței exterioare a elementelor de construcție.

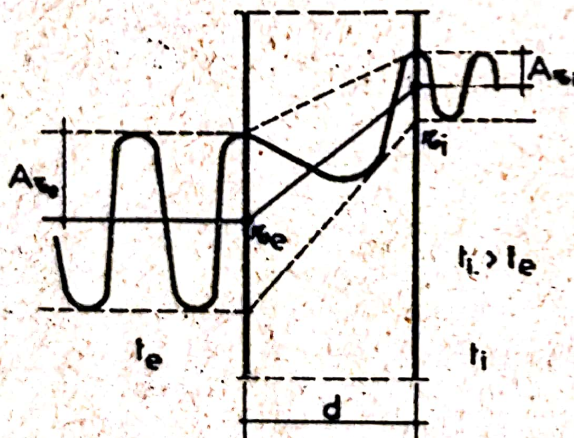


Fig.48. Amortizarea oscilației termice în elemente de construcție.

Indicele care caracterizează temperatura aerului interior, sub influența oscilației temperaturii aerului exterior, depinde de capacitatea de amortizare termică și se exprimă cu ajutorul relației:

$$\nu = \frac{A_{\tau_e}}{A_{\tau_i}} \qquad (129)$$

în care:

- ν, indicele amortizării termice;

- A_{τ_e}, amplitudinea temperaturii suprafeței exterioare a elementului de construcție, în °C ;

- A_{τ_i}, amplitudinea variației temperaturii suprafeței interioare a elementului de construcție în °C ;

Acest indice poate fi luat în considerare atît în condiții de iarnă cît și în condiții de vară, în special la structuri din beton armat la care influența radiației solare este esențială asupra confortului din locuințe.

După Eichler, valorile admisibile pentru ν , în funcție de natura, modul de alcătuire fizică și orientarea elementului de construcție (pereți, terase), față de punctele cardinale trebuie să fie cuprinse între 16 și 25.

Regimul termic variabil la elementele de construcție se manifestă în condiții de iarnă și de vară, fig.49.

In condiții de iarnă regimul variabil poate fi determinat de variația temperaturii a aerului interior, datorită variațiilor condițiilor de funcționare a instalațiilor de încălzire și de variația temperaturii aerului exterior față de condițiile de dimensionare ale regimului permanent, fig.50, sau din ambele cauze.

In condiții de vară, variația condițiilor de microclimat interior este determinată de variație temperaturii aerului exterior. In ambele cazuri adîncimea de pătrundere a oscilațiilor termice de amplitudine A_{t_i} sau A_{t_e} depinde de caracteristicile de amortizare ale elementelor de construcție, exprimate prin indicele ν , definit mai sus.

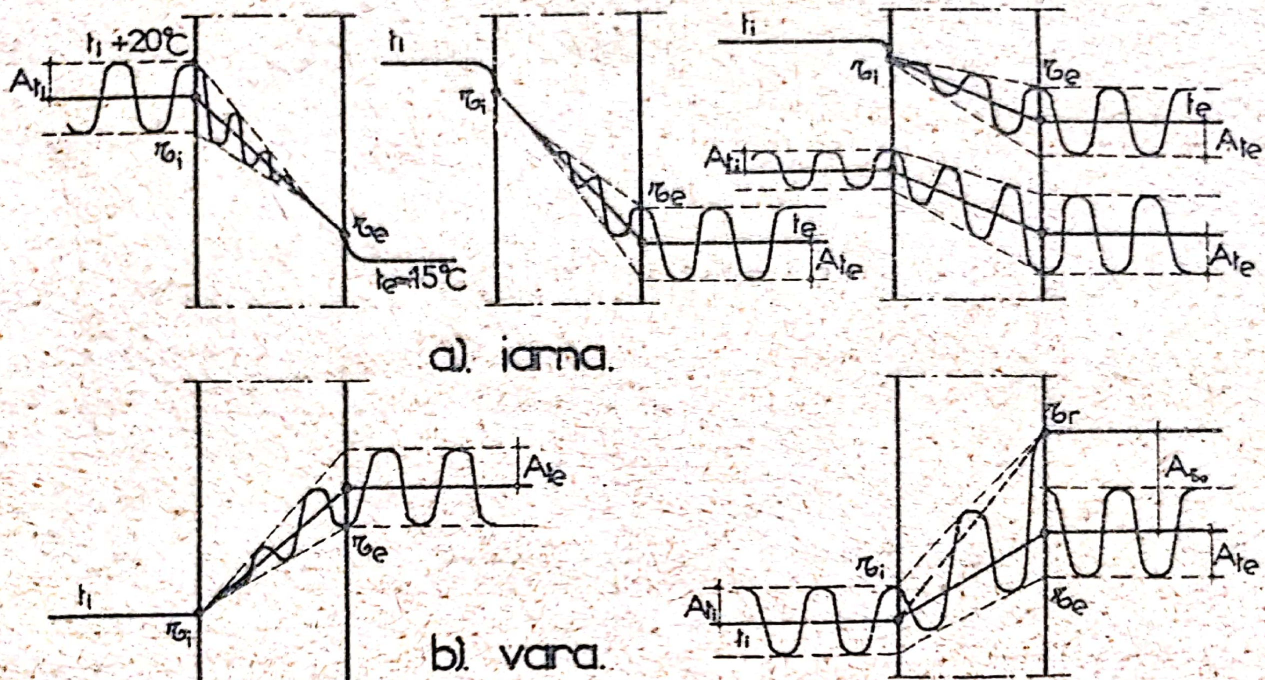


Fig.49.Regimul termic variabil la pereţi omogeni.

a) iarna; b) vara.Adîncimea de pătrundere a oscilaţiilor termice;A_{t_i} , A_{t_e} amplitudinile de variaţie ale temperaturilor aerului interior şi exterior.

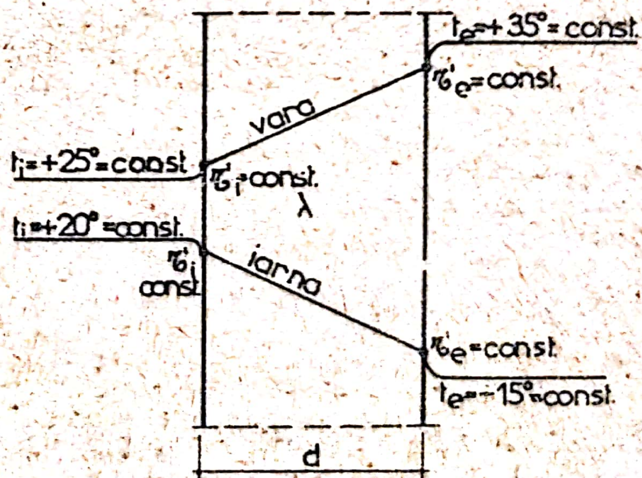


Fig.50.Regimul termic staţionar mediu la pereţi omogeni, în condiţii de iarnă şi vară, pentru zona II-a climatică

2.1.4. Deplasarea de fază (defazajul) oscilaţiilor termice.

Un alt indice al inerţiei termice, care caracterizează acţiunea de răcire în timpul iernii şi de încălzire în timpul verii, este deplasarea de fază sau întîrzierea de timp, a oscilaţiei termice, notată cu η (fig.47) şi care reprezintă intervalul de timp de la începutul acţiunii termice exterioare (răcire sau încălzire) pînă cînd efectul termic se manifestă pe suprafaţa interioară a elementului de construcţie şi deci în interiorul încăperilor. Deplasarea de fază a oscilaţiei termice depinde şi de capacitatea de amortizare a elementului de construcţie. In timpul verii, cînd intervine acţiunea însoririi, dacă amortizarea termică a elementului de construcţie este corespunzătoare, unda termică poate fi reţinută şi căldura absorbită pînă cînd cerul exterior se răceşte din nou. Pentru a se evita încălzirea încăperilor în condiţii de vară este necesar că întîrzierea de fază să fie de cel puţin 8 ore. Acoperişurile terasă sînt supuse însoririi pe o perioadă mai mare şi implică asigurarea unui defazaj mai mare. Pereţii orientaţi spre răsărit sînt supuşi unei durate mai mici de însorire şi implică o valoare mai mică a decalajului de fază.

După Eichler (4) valorile informative admisibile ale defazajului pentru elementele de construcţie în funcţie de natura lor, destinaţia clădirilor şi orientarea cardinală trebuie să fie cuprinse între 6 şi 14 ore.

2.2. Calculul transmisiei termice prin conducţie, în regim nestaţionar, prin diferenţe finite.

Pentru rezolvarea ecuaţiei privind propagarea căldurii, în regim nestaţionar, transpunem ecuaţia (122) în forma corespunzătoare diferenţelor finite:

$$\frac{\Delta t}{\Delta T} = \cdot \frac{\lambda}{C.\varrho} \cdot \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} \qquad (190)$$

Membrul 2 al egalității (130), cu ajutorul diferențelor finite, se poate pune sub forma :

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} = \frac{t_{x+\Delta x,T} - 2t_{x,T} + t_{x-\Delta x,T}}{\Delta x^2} \qquad (131)$$

Pentru rezolvarea ecuației (131) în cazul unui element omogen, împărțit în fîșii egale de lățime x, se pot folosi metode iterative, scriind ecuațiile de bilanț termic și condițiil la limită.

In legătură cu rezolvarea problemelor practice, cu ajutorul diferențelor finite, a apărut necesitatea de a se clarifica condițiile în care se pot obține soluții cu aproximații satisfăcătoare și cu o convergență rapidă. Din literatură rezultă condiția $0 < \frac{1}{M} < \frac{1}{2}$ în care $M = \frac{(\Delta x)^2}{a.\Delta T}$, pentru o convergență rapidă. Pentru M = 2 se poate obține o sistematizare avantajoasă a calculelor, temperatura într-un punct exprimîndu-se ca medie aritmetică a temperaturii punctelor învecinate la momentul precedent.

Calculul numeric cu diferențe finite se conduce pînă la valori ale temperaturilor finale ce prezintă aproximații acceptabile. Cunoscîndu-se variația cîmpului termic se pot face aprecieri privind caracteristicile termice în regim nestaționar și comportarea termică în exploatare.

2.3. Metode analogice electrice pentru regim nestaționar.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații cu diferențe finite ce caracterizează cîmpul termic variabil al elementelor de construcții, se pot folosi dispozitive avînd la bază principiile calculului cifric sau modelarea analogică electrică. Proble-

mele de cîmp termic variabil din construcții pot fi soluționate cu ajutorul dispozitivelor și instalațiilor analogice electrice dezvoltate în Republica Socialistă România de către Catedra de Construcții de la Institutul Politehnic Iași (8). Folosirea dispozitivelor și instalațiilor analogice electrice în regim variabil permite reprezentarea cîmpurilor termice și a condițiilor la limite și determinarea funcțiilor de temperaturi necunoscute $t(x,y,z,T)$ prin măsurători de potențial electric și intensități de curent.

Pentru reprezentarea analogică a ecuațiilor diferențiale în regim nestaționar, se pleacă de la identitatea formei ecuațiilor diferențiale ale cîmpului termic și electric.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\cdot\left(\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\cdot\left(\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial z}\right)=c.\rho\cdot\frac{\partial t}{\partial T} \qquad (132)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\cdot\left(\frac{1}{r_x}\cdot\frac{\partial V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{r_y}\cdot\frac{\partial V}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{r_z}\cdot\frac{\partial V}{\partial z}\right)=C_e\cdot\frac{\partial V}{\partial T} \qquad (133)$$

în care:

- t, funcția de temperaturi;
- λ, coeficient de conductivitate termică;
- C, coeficient de căldură specifică ;
- ρ, greutatea specifică aparentă a materialelor;
- T, timpul;
- r_x , r_y , r_z , rezistențele electrice ale rețelei după direcțiile x,y,z;
- C_e , capacitatea condensatorului;
- V , diferența de potențial în nodul considerat al rețelei ;
- x,y,z, coordonate spațiale.

Pentru reprezentarea analogică a ecuațiilor cu diferențe finite, în modelul cu rezistențe și capacități, se ia în considerare relația lui Kirchoff (fig.51)

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{V_i - V_o}{r_{oi}} = I_o \qquad (134)$$

în care:

$$I_o = C_o \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \qquad (135)$$

Cu ajutorul acestor expresii se stabilesc scheme electrice pentru trecerea de la relațiile cu diferențe finite la scheme analogice în care mărimile electrice respectă relații similare și condiții la limită corespunzătoare.

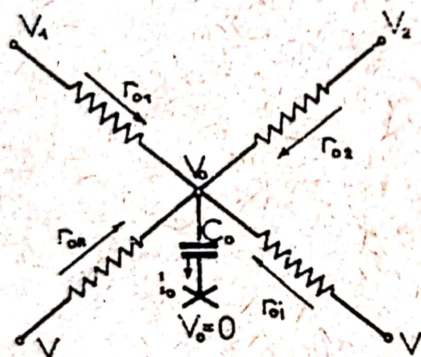


Fig.51.Nod într-o rețea electrică cu rezistențe și capacități ce modelează regimul termic variabil.

3. Dimensionarea termică a elementelor de construcții.

Pentru asigurarea confortului la clădirile de locuit și social-culturale și în scopul dimensionării economice a instalațiilor de încălzire centrală, este necesar ca pierderile de căldură prin elementele exterioare de construcție (pereți, acoperișuri, ferestre, uși) să fie în limita unor valori optime. Această cerință implică respectarea inegalității:

$$R_{ef} \geq R_{o\,nec} \qquad (136)$$

în care: R_{ef}, rezistența termică efectivă a elementului de construcție, în $m^2.h.^oC/Kcal$;

- R_{onec}, rezistența termică necesară, în $m^2.h.^oC/Kcal$.

Rezistenţa termică necesară se calculează cu expresia:

$$Ro_{nec} = \frac{\left(t_i - t_e\right) \cdot n.m}{\alpha_i \cdot \Delta\tau_{imin}} \qquad (137)$$

în care:

- t_i, temperatura aerului interior, în funcţie de destinaţia încăperilor, conform anexei V, în °C ;

- t_e, temperatura convenţională de calcul a aerului exterior în °C, conform zonei climatice din Republica Socialistă România, anexa VI, după care teritoriul ţării este împărţit în 3 zone climatice (zona I cu - 12°C, zona II cu - 15°C, zonaIII cu - 18°C, STAS 6472-61);

- n, coeficient care depinde de poziţia suprafeţei exterioare a elementului de construcţie, faţă de aerul exterior, conform form cu anexa VII ;

- m, coeficient de masivitate a elementului de construcţie, funcţie de valorile indicelui de inerţie D, conform datelor din anexa VIII;

- α_i, coeficient de schimb superficial de căldură la interior, în $Kcal/m^2.h.°C$, conform anexei II;

- $\Delta\tau_{imax} = t_i - \tau_i$, diferenţa de temperatură maximă admisibilă între temperatura aerului interior şi temperatura suprafeţei interioare a elementului de construcţie, din condiţia de confort. şi de evitare a condensului, conform datelor din anexa II în °C.

La structuri cu punţi conform STAS 6472 - 68 şi a datelor din literatură, temperatura minimă pe suprafaţa interioară a elementului de construcţie se poate calcula cu relaţia:

$$\tau_{imin} = t_i - \left(t_i - t_e\right) \cdot R_i \cdot \frac{R_o' + \eta_p \cdot \left(R_o - R_o'\right)}{R_o \cdot R_o'} > \tau_r \qquad (138)$$

în care:

- R_o, rezistența la transmisia căldurii în secțiunea curentă, neinfluențată de puntea termică, în $m^2.h.^oC/Kcal$;

- R_o', rezistența la transmisia căldurii în zona punții, în $m^2.h.^oC/Kcal$;

- η_p, coeficient de corecție în axul punții, conform datelor din anexa X, în funcție de tipul punții (fig.52) și raportul $\frac{a}{d}$, a fiind lățimea punții și d, grosimea elementului de construcție;

- τ_r, temperatura de rouă la care poate interveni condensul pe suprafața elementului de construcție, în funcție de umiditatea aerului interior și exterior, în ^oC.Pentru evitarea condensului trebuie asigurată respectarea inegalității indicată de relația (138).

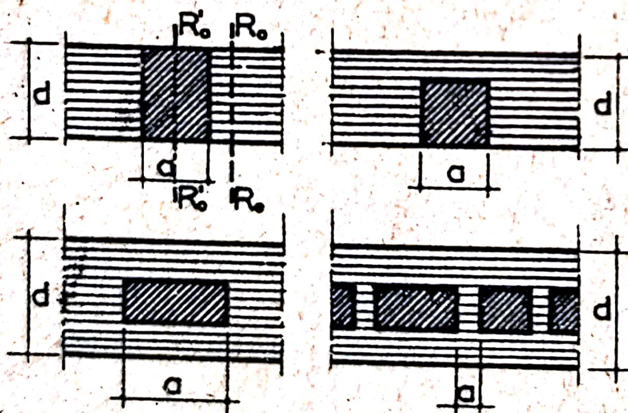


Fig.52. Tipuri de punți.

Rezistența termică efectivă R_{ef}, se determină pe baza elementelor expuse în paragrafele precedente în funcție de caracteristicile termofizice și geometrice ale structurii elementului de construcție.

Pentru aprecierea stabilității termice a unui element de construcție se calculează valoarea efectivă a amortizării oscilației termice ν_{ef}, se compară cu valoarea normală a amortizării ν_{nec}, verificîndu-se inegalitatea:

$$\nu_{ef} \geq \nu_{nec} \qquad (139)$$

Valorile necesare ale amortizării amplitudinilor variaţiilor de temperatură, ν_{nec} sînt prezentate, după Fr. Eichler (4) în anexa II.

Valorile amortizării termice efective ν_{ef} se calculează pentru elemente omogene, cu indicele inerţiei termice $D<1$ cu ajutorul expresiei (140):

$$\nu_{ef} = 0{,}9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} \cdot \frac{(S_{24}+\alpha_i)\cdot\alpha_e + U}{(S_{24}+U)\cdot\alpha_e} \qquad (140)$$

în care:

- e, baza logaritmilor naturii (2,718);
- D, indicele inerţiei termice, calculat cu relaţia (127);
- S_{24}, coeficientul de asimilare a căldurii, conform datelor din anexa I, în Kcal/m^2.h.$^\circ$C;
- $\alpha_{i,e}$, coeficienţii de schimb superficial de căldură, conform anexei II, în Kcal/m^2.h.$^\circ$C;
- U, coeficientul de asimilare a căldurii la suprafaţa elementului de construcţie, dat de relaţia:

$$U = \frac{R\cdot S_{24} + \alpha_i}{1 + R\cdot\alpha_i} \qquad (141)$$

- R, Rezistenţa termică a elementului de construcţie, în m^2.h.$^\circ$C.

La structuri în mai multe straturi, valoarea amortizării termice efective se calculează cu relaţia:

$$\nu_{ef} = 0{,}9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} \cdot \frac{S_1+\alpha_i}{S_1+U_1}\cdot\frac{S_2+U_1}{S_2+U_2}\cdots\frac{S_n+U_{n-1}}{S_n+U_n}\cdot\frac{\alpha_e+S_{n-1}}{\alpha_e} \qquad (142)$$

Valorile $U_1 \ldots U_n$ se vor calcula în funcţie de inerţia termică a straturilor componente conform datelor din anexa XII.

Dimensionarea elementelor de construcţii la defazajul oscilaţiilor termice presupune verificarea inegalităţii:

$$\eta_{ef} \geq \eta_{nec} \qquad (143)$$

Pe plan internațional nu sînt normate valori minime privind întîrzierea de fază, η_{nec}. Fr.Eichler (4), pe baza amortizării minime ν, indică valorile necesare pentru defazajul oscilațiilor termice ale elementelor de construcție conform datelor din anexa XIII.

După A.Sklover (21) și V.Barcs, defazajul oscilațiilor termice η_{ef} se poate calcula cu relația:

$$\eta_{ef} = \frac{1}{15} \cdot \left[40{,}5 \cdot D - arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + S_{24} \cdot \sqrt{2}} + arctg \frac{S_{24}}{S_{24} + \alpha_e \cdot \sqrt{2}}\right] \qquad (144)$$

în care:

- D, coeficientul de inerție termică a elementului de construcție este egal cu produsul $R_o \cdot S_{24}$, la structuri omogene.

La structuri de pereți în mai multe straturi, calculul defazajului η_{ef} se face cu expresia:

$$\eta_{ef} = \frac{1}{15} \cdot \left[40{,}5 \cdot \sum_{K=1}^{n} D_K - arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + U_i \sqrt{2}} + arctg \frac{\alpha_e}{U_e + \alpha_e \sqrt{2}}\right] \qquad (145)$$

în care:

$$\sum_{K=1}^{n} D_K = \sum_{K=1}^{n} R_K \cdot S_{24_K}$$

U_i și U_e calculează pentru fiecare strat component cu ajutorul relațiilor din anexa XII, în funcție de poziția stratului și valorile D_k. Coeficientul U_i se ia egal cu U_1 și U_e cu U_n.

O analiză mai amănunțită a fenomenului presupune luarea în considerare și a capacității de acumulare termică a elementelor de construcție precum și influența transmisiei plane la colțuri și în zona punților la structuri neomogene.

C. UMIDITATEA CONSTRUCȚIILOR

1. Surse de umiditate în construcții.

1.1. Acțiunea apei asupra materialelor și elementelor de construcție.

Studiul umidității construcțiilor prezintă o importanță deosebită în legătură cu asigurarea confortului și durabilității clădirilor. Apa sub diferite forme (vapori în aer, stare lichidă sau solidă în caz de îngheț) acționează permanent la formarea structurii materialelor, la executarea și exploatarea construcțiilor. Fiind un element indispensabil vieții, apa este necesară pentru asigurarea condițiilor biologice, igienice și de confort iar în producție pentru satisfacerea cerințelor tehnologice. Din punct de vedere al umidității, cerințele de igienă și confort ale climatului interior al construcțiilor sînt riguros condiționate de regimul termic, așa cum rezultă din figura 53.

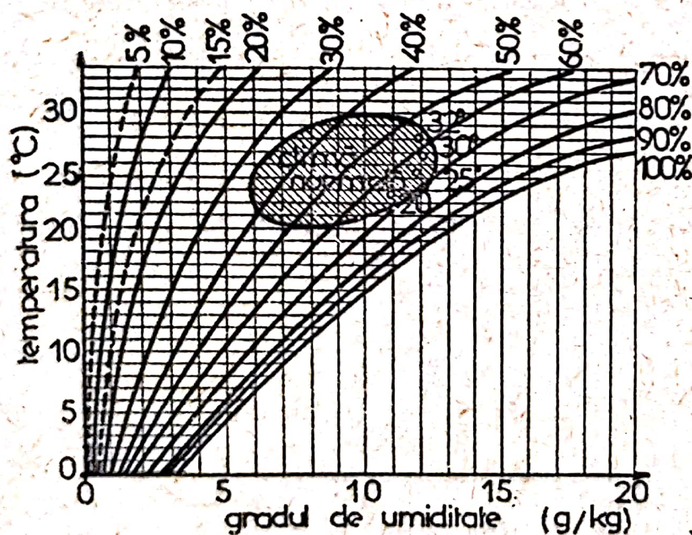


Fig.53. Condiții higrotermice normale de confort pentru climatul interior.

In construcții intervine umiditatea aerului interior care influențează confortul și condițiile tehnologice ale producției, umiditatea aerului exterior în funcție de condițiile climatice generale și locale și umiditatea materialelor elementelor de construcții datorită acțiunii vaporilor de apă din

aerul umed sau direct a apei în stare lichidă.Pentru majoritatea construcţiilor umiditatea relativă a aerului din încăperi trebuie să fie cuprinsă între 30 % şi 70 %.Pentru clădiri civile şi social-culturale,valorile optime ale umidităţii aerului sînt funcţie de temperatură, astfel: u_{r_i} = 55 % la temperatura aerului interior t_i = 23 °C şi u_{r_i} = 65 % la t_i = 20° C.

Cunoaşterea condiţiilor de umiditate în exploatarea construcţiilor este necesară din punct de vedere termotehnic, sanitar-igienic şi constructiv.Sub influenţa umidităţii, conductivitatea termică, căldura specifică şi masa specifică a materialelor cresc, iar izolarea termică a materialelor scade.Din punct de vedere sanitar-igienic creşterea umidităţii creează condiţii favorabile pentru instalarea unor afecţiuni cronice(reumatism) şi permite dezvoltarea ciupercilor şi mucegaiului.Din punct de vedere constructiv, variaţia umidităţii materialelor de construcţii conduce la micşorarea rezistenţelor mecanice, determină tensiuni din contracţii şi dilatări care influenţează structura fizică a materialelor, iar sub influenţa îngheţ-dezgheţului, în zona exterioară a elementelor de construcţii apar degradări şi deformaţii care reduc considerabil durabilitatea construcţiilor (4).

1.1.1. Formele de acţiune a apei asupra construcţiilor.

Apa poate acţiona asupra construcţiilor sub forme diferite, umiditatea aerului şi a elementelor de construcţie fiind rezultatul suprapunerii mai multor acţiuni, (fig.54):

Apa iniţială de construcţie, care este introdusă în construcţie prin procesul de construcţie şi este funcţie de natura materialelor, sistemul constructiv şi tehnologia de execuţie.

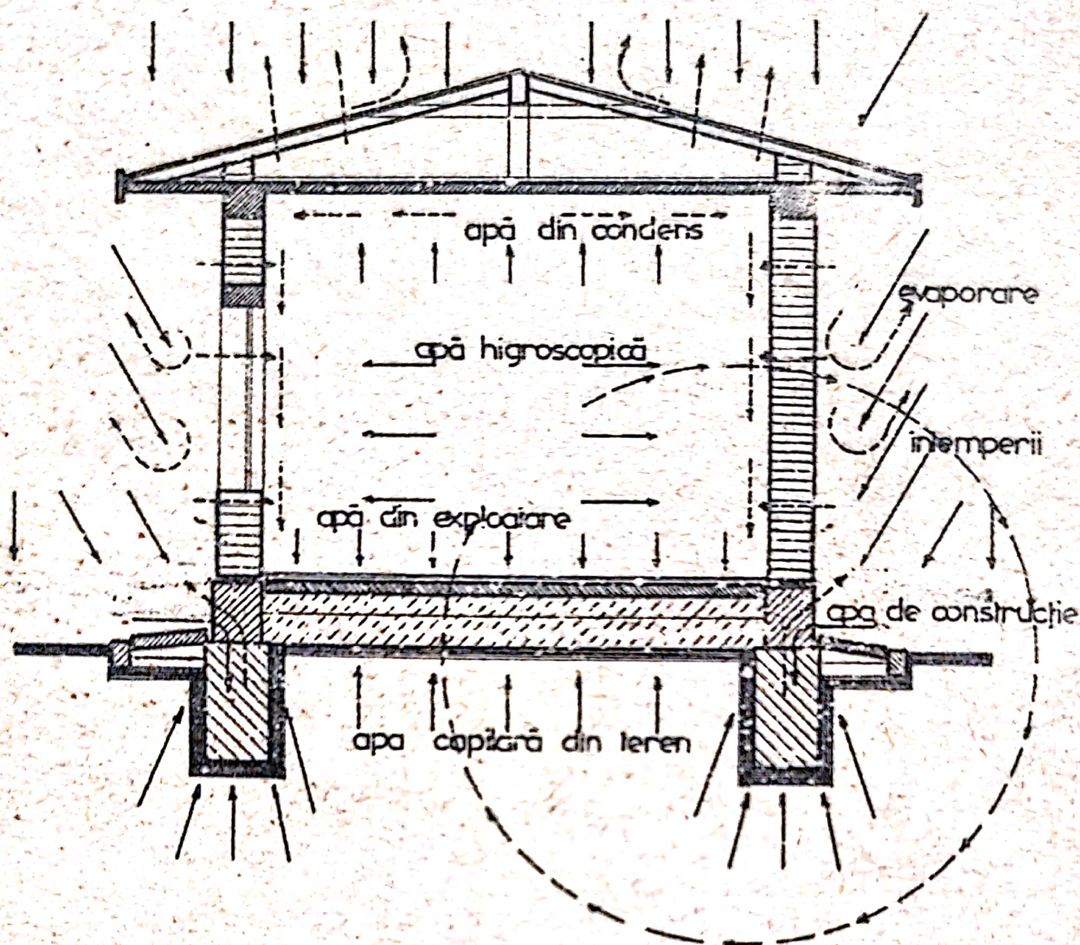


Fig.54. Acțiunea complexă a apei din natură asupra construcțiilor.

__Apa din teren__, care poate acționa direct asupra fundațiilor sau datorită ascensiunii capilare pînă la nivelul elementelor de construcție de la parter, corespunzător hidroizolației soclului.

__Apa meteorologică__, care influențează climatul exterior și acționează asupra construcțiilor, datorită intemperiilor sub formă de ploaie și zăpadă (fig.55).

__Apa de exploatare__, este determinată de natura proceselor umede care intervin în legătură cu destinația unor încăperi(spălătorii,băi,bucătării) în clădirile de locuit și social-culturale

şi datorită unor procese tehnologice în producţie.

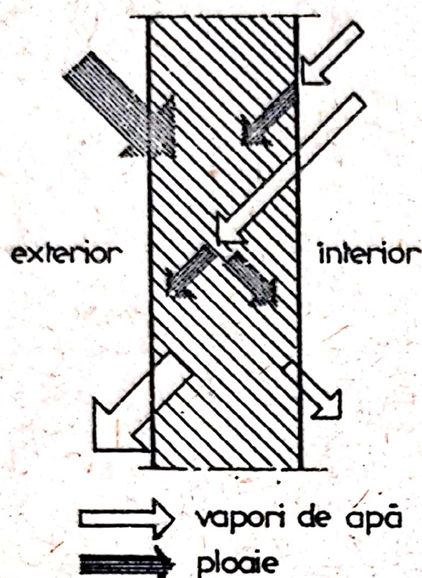


Fig.55.Acţiunea apei sub formă de vapori (la interior şi exterior)şi sub formă de ploaie.

Apa de natură biologică, care intervine prin procesele de respiraţie şi evaporare a vaporilor de apă la suprafaţa pielii omului şi a vieţuitoarelor.In raport cu activitatea pe care o depune, la temperatura de 20°C, omul poate produce cantităţi de 50..60 g/h (în repaus) pînă la 1300...6800 g/h (muncind greu).Cantitatea maximă de vapori de apă ce se poate considera ca fiind degajată de om într-o încăpere este de 22/24 h.

Apa higroscopică, ce se datoreşte acţiunii umidităţii aerului interior şi exterior asupra construcţiilor şi este funcţie de structura fizică a materialului şi procentul de umiditate a aerului.Sub acţiunea umidităţii higroscopice se stabileşte umiditatea de echilibru a materialelor ce caracterizează exploatarea construcţiilor.

Apa de condens,poate interveni pe suprafaţa interioară, exterioară şi în masa elementelor exterioare de construcţie (pereţi, terase) datorită condensării vaporilor de apă ce migrează prin elementele de construcţie sub acţiunea gradientului de temperatură şi de umiditate, atunci cînd temperatura coboară sub limita valorii de rouă.

Sub acţiunea complexă a apei, în limitele indicate în figura 56, conform datelor din Franţa (24) se stabileşte umiditatea de exploatare a construcţiilor şi elementelor de con-

strucţie.Din aer apa acţionează asupra elevaţiei, fundaţiei şi terenului şi prin fenomene de evaporare şi condensare, circulaţia apei din natură şi construcţie prezintă un circuit închis.

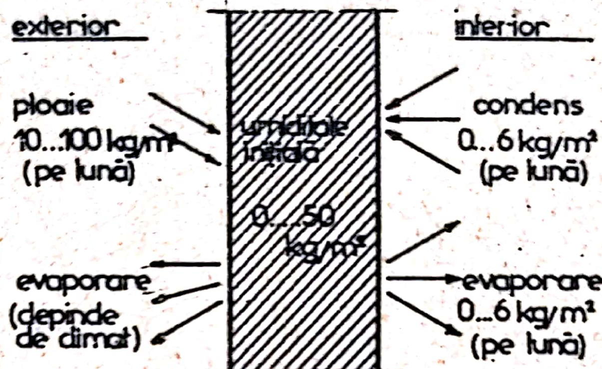


Fig.56. Cantităţile medii de apă primită şi cedată de peretele exterior pe suprafaţa interioară şi exterioară.

1.2. Umiditatea aerului.

Aerul poate conţine apă într-una sau mai multe faze: gazoasă(vapori), lichidă(picături) şi uneori solidă (în stare cristalizată sau amorfă).La suprafaţa apei (aflată în stare lichidă sau solidă) sînt expulzate permanent molecule de apă datorită agitaţiei moleculare, formîndu-se o pătură de vapori.Dacă stratul de vapori de apă nu este antrenat de aerul în mişcare, se obţine o stare de saturaţie în care faza gazoasă este în echilibru cu faza lichidă sau solidă a apei, realizîndu-se egalitatea între presiunea sau tensiunea de vaporizare şi presiunea vaporilor de apă din atmosferă.

Aerul conţine astfel, la un moment dat, o anumită cantitate de vapori de apă, care determină umiditatea sa.Conţinutul de vapori de apă di n aer, exprimat în g/m^3 , defineşte umiditatea sa absolută, u_a :

$$U_a = \frac{m_v}{V} \qquad (146)$$

în care:

- m_v , masa vaporilor de apă, în g;
- V , volumul aerului umed, în m^3.

Conţinutul maxim de vapori de apă ce poate fi absorbit de aer la temperatura "t" defineşte umiditatea de saturaţie u_s ($u_s = u_{max}$).

In anexa XIV, se prezintă valorile u_{max} , pentru aer, în funcţie de temperatură. Umiditatea de saturaţie a aerului creşte cu temperatura sa. Aerul cald prezintă o capacitate mai mare de absorbţie a vaporilor de apă, faţă de aerul rece. Umiditatea aerului poate fi exprimată şi prin raportul între conţinutul real de vapori de apă şi conţinutul maxim pe care-l poate absorbi aerul la temperatura "t", ceea ce defineşte umiditatea sa relativă, u_r % :

$$U_r = \frac{U_a}{U_s} \cdot 100 \qquad (147)$$

Conţinutul în vapori de apă influenţează presiunea atmosferică. Presiunea atmosferică a aerului este determinată de presiunea parţială a aerului uscat şi presiunea vaporilor de apă din aer. Presiunea parţială a vaporilor de apă din aer caracterizează conţinutul real în vapori de apă al aerului sau elasticitatea vaporilor de apă notată cu "e" şi exprimată în mm col.Hg. Elasticitatea sau presiunea vaporilor de apă creşte cu umiditatea absolută u_a şi cu temperatura t a aerului.

La presiunea atmosferică de 755 mm col.Hg. elasticitatea vaporilor de apă sau presiunea parţială a acestora se poa-

te calcula cu relaţia:

$$e = p_a = \frac{273+t}{289} \cdot u_a = \frac{T}{289} \cdot u_a \qquad (148)$$

în care:

- T, = 273 + t, temperatura absolută a aerului, exprimată în°K.

In cazul cînd umiditatea absolută a aerului prezintă valoarea maximă $u_{max} = u_s$, în g/m^3, se obţine elasticitatea sau presiunea maximă a vaporilor de apă notată cu E, în mm col.Hg, care depinde de temperatura aerului, conform anexei XV. Umiditatea relativă a aerului u_r, în %, se poate exprima şi în funcţie de elasticitatea parţială şi maximă (de saturaţie) a vaporilor de apă, conform expresiei:

$$U_r = \frac{e}{E} \cdot 100 \qquad (149)$$

In problemele de verificare a condensului la elemente de construcţie interesează calculul elasticităţii parţiale "e" folosind relaţia (117), în funcţie de umiditatea relativă a aerului u_r %:

$$e = \frac{E}{100} \cdot U_r \qquad (150)$$

In anexa XVI sînt prezentate valorile elasticităţii parţiale a vaporilor de apă pentru diferite umidităţi relative ale aerului. In anexa V sînt prezentate valorile admisibile ale umidităţii aerului în construcţii în raport cu destinaţia acestora.

1.3. Umiditatea materialelor de construcţii.

Materialele de construcţie şi elementele de construcţii pot reţine apa în masa lor sub următoarele forme:

- Apa de construcţie, legată prin combinaţii chimice de

moleculele materialelor;

- Apa de structură, sau hidratare, care participă la cristalizarea unor materiale;

- Apa higroscopică, absorbită sau adsorbită ƒ de materiale sub formă capilară.

La corpuri eterogene, formate din fază solidă şi fază lichidă, au loc fenomene între faze (12,21) ce caracterizează acţiunea apei asupra materialelor şi care constau din:

- absorbţie, adică difuzarea moleculelor fazei fluide în faza solidă;

- adsorbţie, ce constă din formarea pe faţa solidului a unei pelicule de molecule din fază fluidă pe suprafaţa porilor deschişi, sub acţiunea forţelor Van der Waals ;

- sorbţie, adică ansamblul fenomenelor de absorbţie şi adsorbţie;

- desorbţie, adică fenomenul de cedare a apei;

- chemosorbţie, în cazul cînd legătura apei cu faza solidă se realizează prin satisfacrea valenţelor, fenomenul fiind greu reversibil.

Apa poate fi prezentă în cavităţile materiale şi prin reţinere mecanică, fără adeziune, datorită infiltraţiilor din ploi, sau ca urmare a fenomenelor de condens la suprafaţa sau în masa elementelor de construcţie.In condiţii similare de temperatură şi umiditate materialele pot reţine cantităţi diferite de apă.Materialele care pot lega apa prin sorbţie, adică direct din faza gazoasă (aer), se zic higroscopice.Umiditatea higroscopică este normală pentru elementele de construcţie, depinde de umiditatea aerului şi nu influenţează în general durabilitatea materialelor de rezistenţă, din construcţii.

O sensibilitate mare prezintă materialele uşoare termo-

izolatoare care se pot degrada la umidități mari ale aerului.In anexa XVII se prezintă valorile umidității higroscopice (de sorbție) a materialelor de construcție care prezintă variații între 0,08 % și 36,6 % în funcție de temperatura și umiditatea relativă a aerului.In fig.57, se prezintă în mod sugestiv formele de legătură mecanică a apei în elementele de construcție.

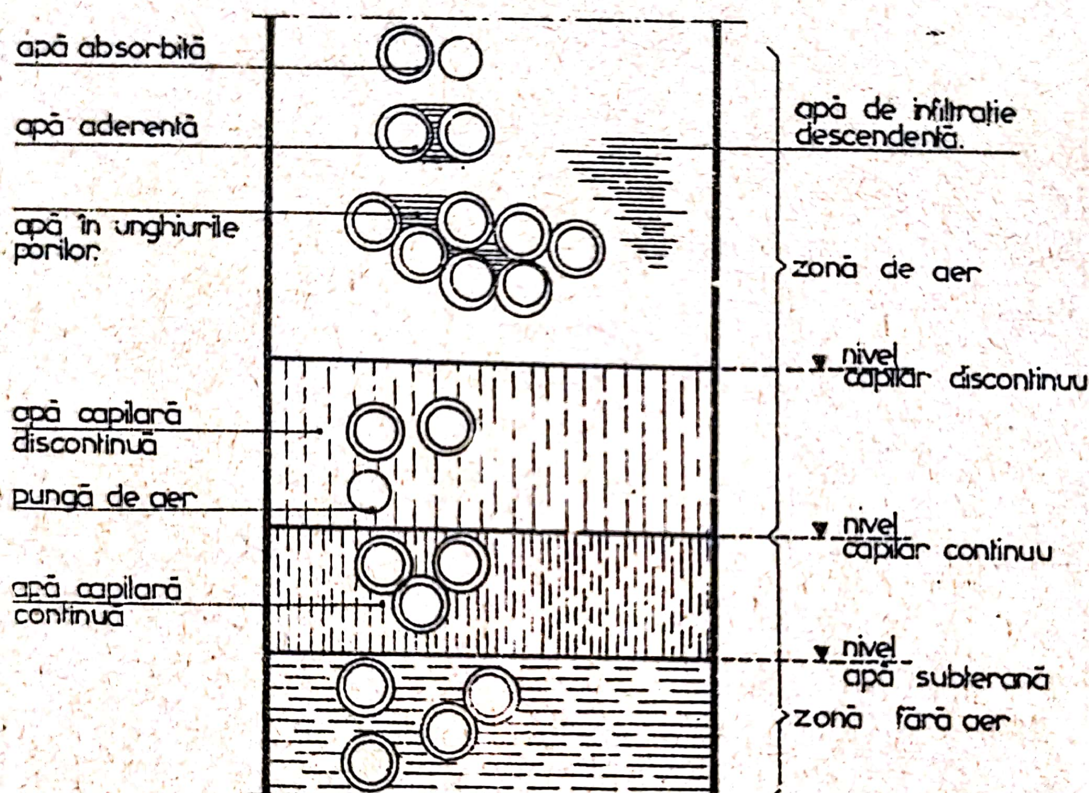


Fig.57. Formele de legătură mecanică a apei în elementele de construcție.

Pentru asigurarea durabilității materialelor folosite la pereți și terase este necesar să se evite formarea condensului atît pe suprafața elementelor de construcție în exploatare cît și în masa acestora.

Conținutul de apă al materialelor de construcții variază sub acțiunea proceselor de umezire și uscare.Apa legată chimic nu este influențată de procesul de uscare Prin uscare sau umezire

variază numai conţinutul de apă, reţinută fizic şi mecanic.

Umiditatea totală a unui material este alcătuită din umiditatea de sorbţie (higroscopică)şi umiditatea liberă, conform schemei din fig.58 (12).Umiditatea liberă este determinată de contactul direct al materialului cu apa în stare lichidă sau condensarea vaporilor.Umidităţile de echilibru care se stabilesc

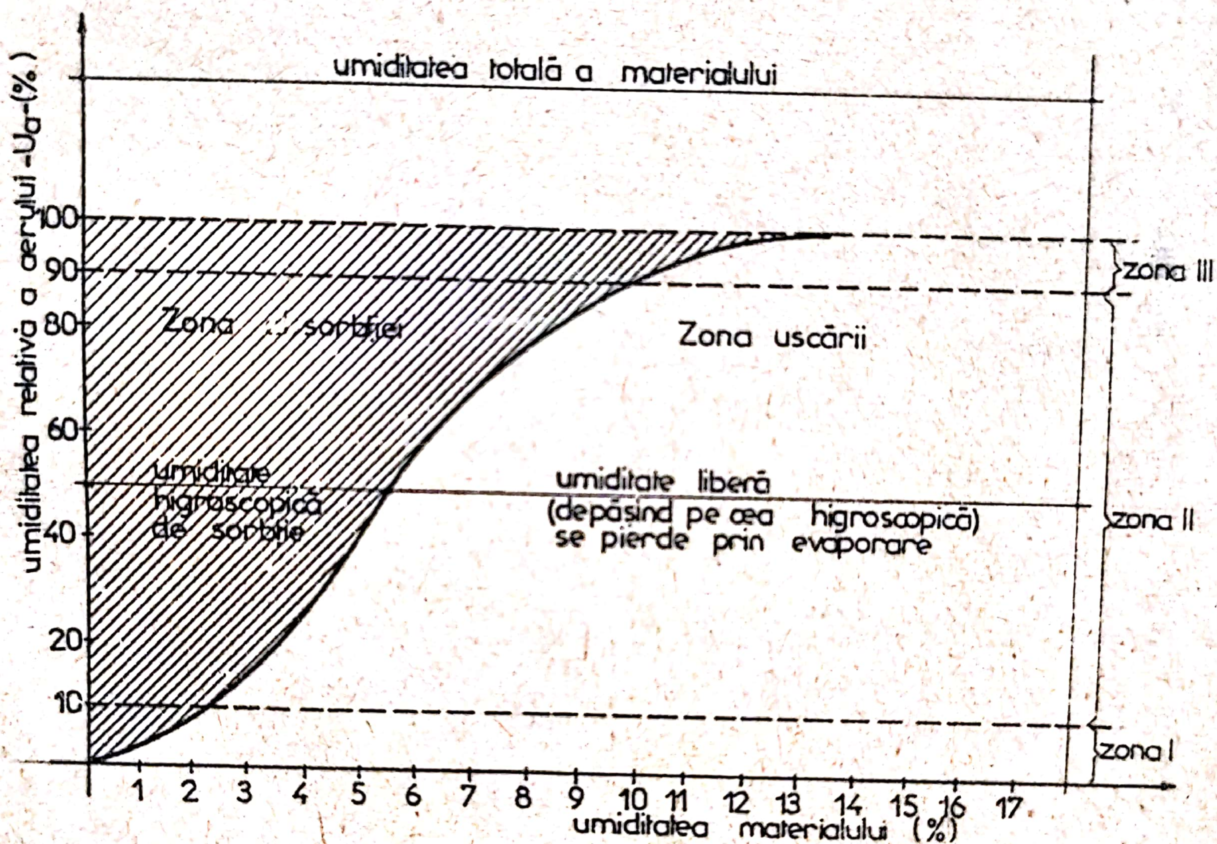


Fig.58.Schema stării unui material în procesul de umezire-uscare.

pentru diferite materiale(cărămizi,betoane uşoare, betoane grele, vată minerală şi materiale izolatoare organice) sînt prezentate în graficele din figura 59 şi nu depăşesc 9% raportat la volum, pentru umiditatea relativă a aerului de 100 %.După W.Bauer, durata timpului necesar pentru stabilirea umidităţii de echilibru este de cel puţin 1 an la zidărie de cărămidă, de cel puţin 2 ani la

beton de zgură şi 4 ani la cărămizi silico-calcaroase.

Umiditatea unui material poate fi exprimată prin raportarea cantităţii de apă la masă sau la volum. Umiditatea gravimetrică, raportată la masa materialului se exprimă cu relaţia:

$$u_{ga} = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 = \frac{m_a}{m_o} \cdot 100 \qquad (151)$$

în care:

- u_{ga}, umiditatea gravimetrică absolută, în % ;
- m_u, masa materialului în stare umedă, în g ;
- m_o, masa materialului în stare uscată în g ;
- m_a, masa de apă în g.

Umiditatea volumetrică u_v, în %, se exprimă cu relaţia :

$$U_v = \frac{V_a}{V_m} \cdot 100 \qquad (152)$$

în care:

- V_a, volumul de apă din material ;
- V_m, volumul materialului;

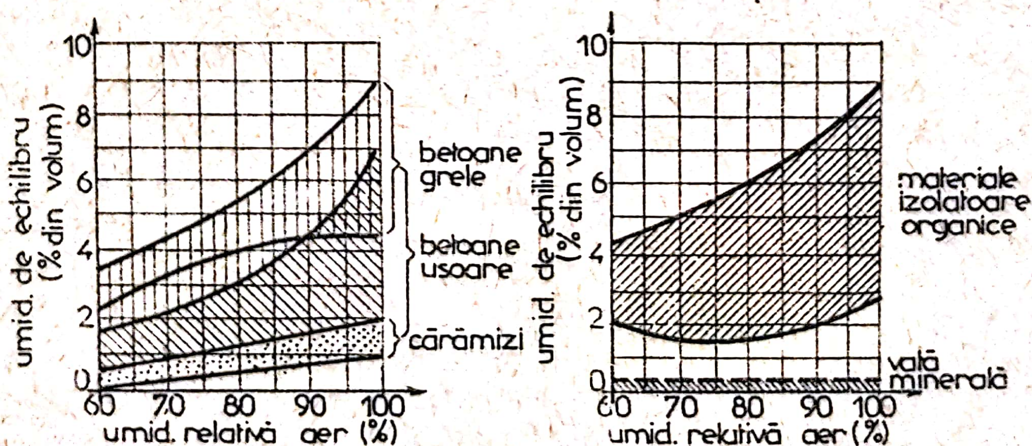


Fig.59. Umidităţi de echilibru pentru materiale de construcţie.

Determinarea conţinutului de umiditate al materialelor se poate obţine prin metode gravimetrice(uscarea probelor la 101 -105°C) şi metode electrice (măsurarea unui parametru electric, variabil cu umiditatea).

1.3.1. Caracteristicile materialelor privind difuzia vaporilor de apă.

Pentru umidităţi relative ale aerului cuprinse între 10 % şi 90 %, după A.Licov, difuzia vaporilor de apă în materiale depinde de caracteristicile structurale ale porilor capilari ale acestora şi se exprimă prin coeficientul de permeabilitate la vapori de apă şi capacitatea specifică de vapori.

Pentru caracterizarea materialelor de construcţie sub aspectul permeabilităţii la vapori de apă se poate folosi noţiunea de conductivitate la vapori δ , exprimată în Kcal/m.h.mmHg şi care este exprimatăde relaţia:

$$\delta = \frac{D}{R_D \cdot C \cdot T} \qquad (153)$$

în care:

- D ., coeficientul de difuzie a vaporilor de apă în aer, exprimat în m^2/h, definit de expresia :

$$D = 0{,}083 \, \frac{10.000}{P} \left(\frac{T}{273}\right) \qquad (154)$$

Valorile coeficientului D depind de presiunea barometrică şi temperatură, fiind cuprinse între 0,083 şi 0,095 m^2/h , în condiţiile în care P = 735,5 ....760,0 torr (mmHg) şi temperatura este cuprinsă între 0 şi 30°C.

- R_D , rezistenţa la difuzie a vaporilor de apă, noţiune introdusă de Kriescher, care arată de cîte ori este mai mare rezistenţa la difuzie a unui material oarecare în raport cu rezistenţa la difuzie a unei pături de aer de aceeaşi grosime

- C, constanta gazelor pentru vapori de apă, egală cu 4,71 Kgf/m % Kg.°K.

- T , temperatura absolută, în °K.

După Cammerer, coeficientul de conductivitate la vapori a unui material, la temperatura de 0°C şi presiunea atmosferică 760 mmHg, este dat de relaţia:

$$\delta = \frac{6,24}{R_D} \cdot 10^{-6} \qquad (155)$$

Coeficientul de conductivitate la vapori de apă a unui material reprezintă cantitatea de vapori de apă, în Kg, ce trec printr-un cub de material cu latura de 1 m, după o direcţie perpendiculară pe una din suprafeţele cubului cu latura de 1 m, în timp de 1 oră şi pentru o diferenţă de presiune parţială (elasticitate) a vaporilor de apă, ntre suprafeţele opuse, de 1 mmHg (torr).

Capacitatea specifică de vapori a unui material, ξ exprimată în g/Kg mm col Hg, reprezintă cantitatea de vapori de apă, în g, necesară pentru a ridica presiunea parţială(elasticitatea) vaporilor de apă din porii unui Kilogram de material cu 1 mm col Hg.

In anexa XVIII sînt prezentate valorile conductivităţii la vapori de apă a principalelor materiale de construcţie cuprinse între 0,003 ....0,050 g/m.h.mm col Hg.

1.4. Măsurarea umidităţii în construcţii.

1.4.1. Măsurarea umidităţii aerului.

Pentru cunoaşterea condiţiilor de microclimat interior în clădiri sub influenţa climatului exterior sînt necesare măsurători privind umiditatea aerului şi a elementelor de construcţii.

Pentru măsurarea umidităţii aerului se folosesc metodele:

Metoda psihrometru , se bazează pe măsurarea diferenţei temperaturilor indicate de un termometru umed şi unul uscat şi care variază cu umiditatea aerului. Acest principiu s-a folosit la construcţie de diferite aparate denumite psihrometre ,dintre care menţionăm psihrometrul Assmann, fig.60.



Fig.60.
Psihrometru Assmann

Metoda higrometrului cu fir de păr, bazată pe variaţia lungimii unui fir de păr degresat, în funcţie de umiditatea aerului. Higrometrele cu fir de păr, fig.61, sînt relativ robuste şi comode în exploatare, permiţînd înregistrări cu eroare de 3....5%.

Metoda măsurării punctului de rouă.

Este o metodă mai recentă, bazată pe faptul că soluţia de Li CL umedă este mai bună conducătoare de electricitate decît una uscată. Dacă prin soluţia de Li CL, dispusă între doi electroni inoxidabili, trece un curent electric, aceasta o va încălzi pînă cînd presiunea vaporilor de apă din soluţie este egală cu a vaporilor de apă din aer, realizîndu-se astfel un echilibru, caracterizat printr-o temperatură de inversiune, care măsurată, exprimă umiditatea atmosferică, fig.62. Pe acest principiu s-au construit diferite higrometre cu Li Cl.

1.4.2. Măsurarea umidităţii materialelor şi elementelor de construcţie.

a) Metode distructive.

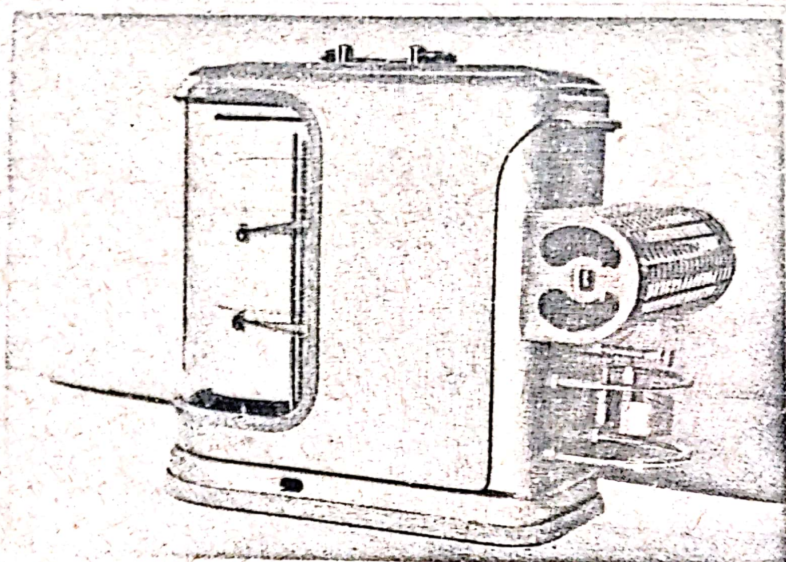


Fig.61.Termohigrograf săptămînal Junkalor.

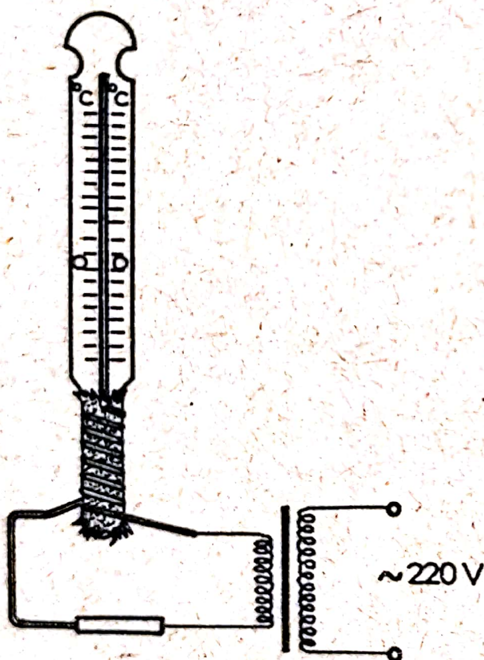


Fig.62. Higrometru cu L_iCl.

Metoda uscării în etuvă, presupune recoltarea de probe care se cîntăresc în stare umedă, se usucă la anumite temperaturi şi se cîntăresc din nou, determinîndu-se greutatea constantă.Cu aceste date se obţine umiditatea relativă.

Un tip de umidometru funcţionînd după acest principiu se prezintă în fig.63.

b) Metode nedistructive.

Metode electrice.In cadrul metodelor electrice se foloseşte variaţia anumitor mărimi electrice(conductivitatea, capacitatea electrică) ale probelor de materiale (sau a unor

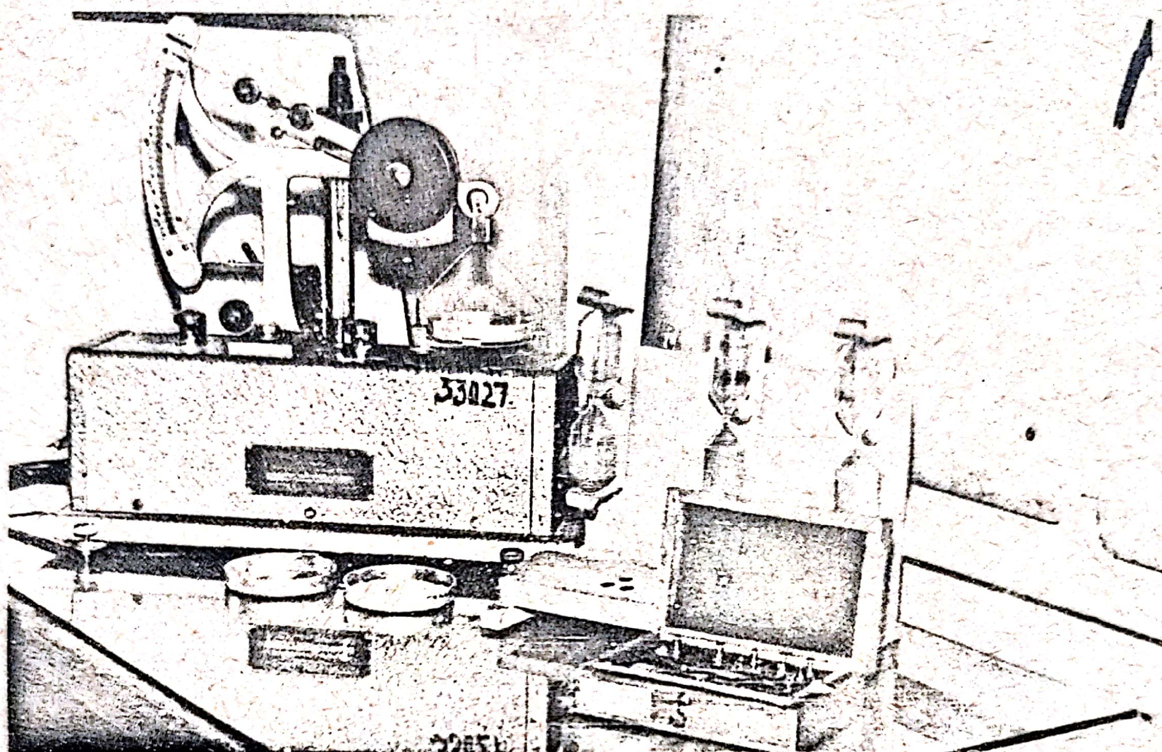


Fig.63.Aparat pentru determinarea umidității materialelor prin uscare și cîntărire, în curent de aer cald.

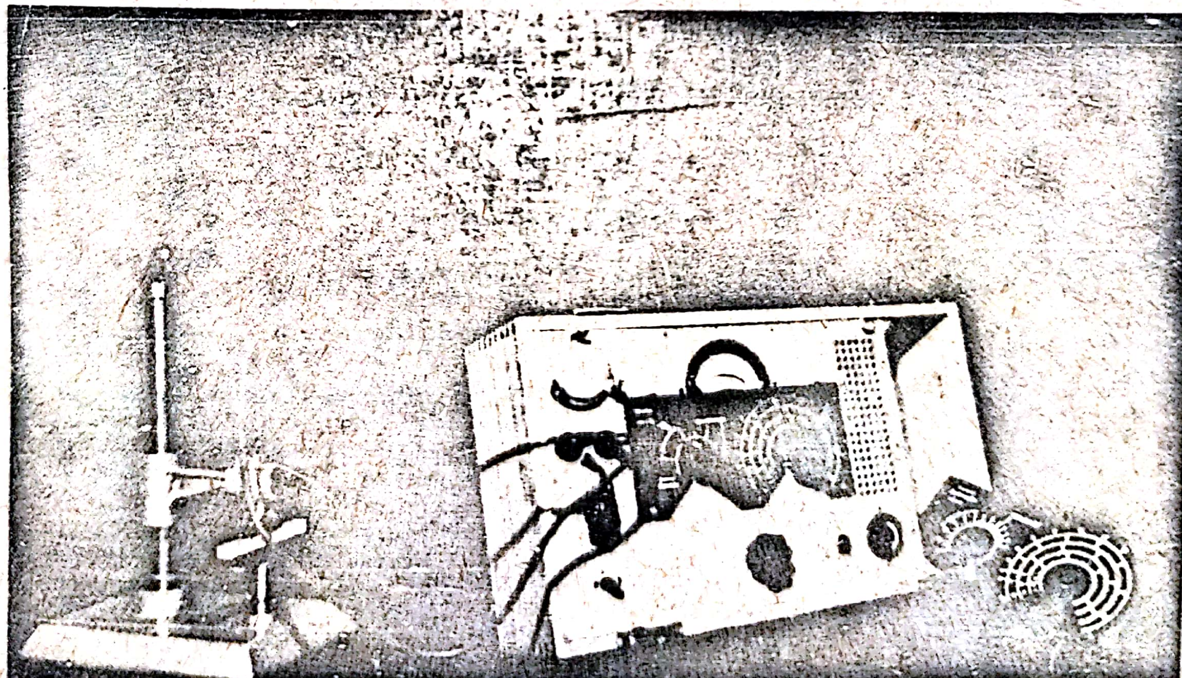


Fig.64.Aparat pentru măsurarea umidității lemnului de tip Hygrorekord

traductori) cu umiditatea. Un umidometru de acest tip se prezintă în fig. 64.

Metode radioactive. Se bazează pe absorbţia energiei cinetice a neutronilor rapizi la trecerea prin substanţe cu un conţinut mare de atomi de hidrogen(apă). Metoda se pretează la măsurarea elementelor masive. In funcţie de necesităţi s-au construit diferite tipuri de asemenea umidometre.

Metode termice. Intrucît prezenţa apei modifică caracteristicile termice ale materialelor (conductivitatea termică, căldura specifică etc.) s-au realizat umidometre pe această bază. Pînă în prezent ele sînt în fază experimentală.

1.5. Condensarea vaporilor de apă în construcţii.

Procesul de trecere al apei din faza gazoasă în faza lichidă, are loc prin condensare atunci cînd prin coborîrea temperaturii aerului sau prin creşterea concentraţiei vaporilor de apă în aer se obţine presiunea de saturaţie. Punctul de rouă $\mathcal{E}_r$ în ^oC, al aerului umed la temperatura t şi presiunea totală "p" a acestuia, caracterizat printr-un anumit raport de amestec între aer şi vapori de apă ($\frac{g_{vapori}}{g_{aer}}$), reprezintă temperatura la care trebuie răcit aerul, sub presiunea constantă pentru ca el să devină saturat. Condensarea vaporilor are loc ori de cîte ori aerul este adus la o temperatură inferioară punctului de rouă sau cînd aerul vine în contact cu un obiect sau element de construcţie a cărui temperatură la suprafaţă este inferioară punctului de rouă.

Condensul pe suprafaţa elementelor de construcţie depinde de gradul de ventilaţie a aerului din încăperi, de mişcarea aerului exterior, de variaţia temperaturii şi umidităţii aerului interior, de omogenitatea constructivă a pereţilor şi teraselor. La structuri neomogene, cu punţi termice, condensul se poate pro-

duce în dreptul acestora datorită temperaturii mai coborîte a elementelor de construcție în aceste zone. Formarea condensului pe suprafețele interioare ale elementului de construcții este influențată și de caracteristicile finisajelor. La tencuieli impermeabile cu pelicole etanșe, de tipul vopsitorilor, condensul sub formă de picături se manifestă imediat ce temperatura suprafeței atinge punctul de rouă. Tencuielile absorbante pot asigura rolul de volant și regulator de umiditate, condiție importantă pentru confortul higrotermic, în cazul cînd umiditatea aerului variază în limite normale.

Condensarea vaporilor în masa elementelor de construcție (pereți, terase) depinde de soluția constructivă (structură omogenă sau neomogenă), de etanșeitatea suprafeței interioare, la acțiunea vaporilor de apă și etanșeitatea suprafeței exterioare la acțiunea directă a apei din intemperii, anexa XII după R.E.F. La structuri omogene procesul de migrare a apei este permanent, ca urmare a condensărilor și evaporărilor în masa și la suprafața elementelor (a). Barierele etanșe la exterior (b), la interior(c), favorizează formarea condensului în secțiunile respective. Folosirea tencuielilor absorbante elimină formarea condensului la suprafață. La umidități mari sînt indicate structuri cu straturi de aer (d) și (e) care să asigure, prin comunicare cu aerul exterior, eliminarea vaporilor de apă din elementele de construcții.

2. Calculul la umiditate a construcțiilor.

2.1. Rezistența la permeabilitatea la vapori a elementelor de construcție în regim staționar.

Sub influența gradientului de umiditate și în raport cu caracteristicile elementelor de construcție la permeabilitatea la vapori de apă, pot avea loc fenomene de difuzie a vaporilor

de la interior la exterior, în condiții de iarnă și în unele cazuri de la exterior la interior, în condiții de vară.

Sub influența diferenței de elasticitate a vaporilor de apă din aerul interior (e_i), față de elasticitatea vaporilor de apă din aerul exterior (e_e), are loc fenomenul de difuzie a vaporilor de apă în funcție de permeabilitatea la vapori a elementelor de construcție, de alcătuirea lor constructivă și condițiile de climat termic.

In condiții de regim staționar de umiditate (e_i = const, e_e = const) difuzia vaporilor de apă prin elementele de construcție omogene, (fig.65), este condiționată de rezistența la trecerea vaporilor la suprafața interioară I (R_{vi}), rezistența la trecerea vaporilor prin elementul de construcție II (R_v) și rezistența la trecerea vaporilor de apă de la suprafața exterioară a elementului de construcție la aerul exterior III (R_{ve}).

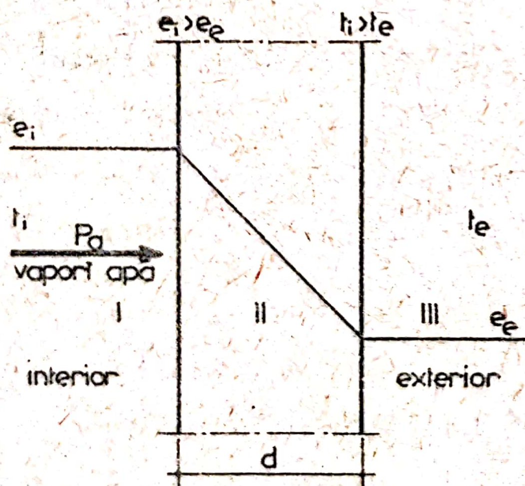


Fig.65. Variația elasticității vaporilor de apă prin structuri omogene.

Rezistența totală (R_{ov}) la trecerea vaporilor de apă, în $m^2.h.mm$ col Hg/g, prin elementul de construcție este dată de relația:

$$R_{ov} = R_{vi} + R_v + R_{ve} = \frac{1}{\beta_e} + R_v + \frac{1}{\beta_e} = \frac{\,}{\mu} \qquad (156)$$

în care:

- R_{vi}, rezistența la trecerea vaporilor de apă de la aerul interior la suprafața interioară a elementului de construcție exterior, în $m^2.h.mm$ Hg/g, având valoarea 0,2 $m^2.h.mm$ Hg/g, β_i fiind coeficientul

de trecere a vaporilor de apă la suprafaţa interioară.

- R_{ve} , rezistenţa la trecerea vaporilor de apă de la suprafaţa exterioară a elementului de construcţie la aerul exterior, în $m^2.h.mm$ Hg/g, avînd valoarea 0,1 $m^2.h.mm$ Hg/g, β_e fiind coeficientul de trecerea vaporilor de apă la suprafaţa exterioară.

- R_v , rezistenţa la trecrea vaporilor de apă de la suprafaţa interioară a elementului de construcţie la suprafaţa sa exterioară, în $m^2.h.mm$ col Hg/g şi se defineşte ca fiind rezistenţa pe care o prezintă un element de construcţie la trecerea vaporilor de apă, în grame, printr-un m^2 de suprafaţă, timp de 1 oră şi pentru o diferenţă a elasticităţii vaporilor de apă între faţa interioară şi cea exterioară a elementului de construcţie de 1 mm col Hg.

- μ , coeficientul de permeabilitate la vapori de apă a elementului de construcţie, exprimat în $g/m^2.h.mm$ col Hg, reprezentînd cantitatea de vapori de apă ce trece printr-o suprafaţă de 1 m^2, a elementului de construcţie, timp de 1 oră şi pentru o diferenţă de presiune a vaporilor de apă dintre aerul interior şi exterior de 1 mm col Hg , putîndu-se exprima şi sub forma:

$$\mu = \frac{1}{R_{ov}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\delta_i} + \frac{1}{\beta_e}} \qquad (157)$$

La elemente omogene rezistenţa la permeabilitatea de vapori de apă, care este o caracteristică a elementulu[i de] construcţie, neglijînd rezistenţele de suprafaţă la trecerea vaporilor, datorită valorilor mici, se poate prezenta sub forma:

$$R_{ov} \cong R_v = \frac{d}{\delta} = \frac{1}{\mu} \left[m^2 h.mm col Hg/g\right] \qquad (158)$$

în care:

d - grosimea elementului, în m ;

δ - coeficientul de conductivitate la vapori al materialului în g/m.h.mm col Hg ;

μ - coeficientul de permeabilitate la vapori al elementului de construcţie, în g/m^2 h.mm Hg.

In anexele XVIII şi XX, în conformitate cu STAS 6472-68, sînt prezentate valorile rezistenţei la permeabilitate la vapori R_v ale unor materiale sub formă de straturi subţiri, foi, în funcţie de grosimea lor şi valorile rezistenţei la permeabilitate ale unor materiale de construcţie folosite la structura pereţilor. Deoarece $R_{vi} + R_{ve} = 0,3$, reprezintă o valoare mică, practic se admite:

$$R_{ov} \cong R_v \qquad (159)$$

La elemente de construcţie alcătuite din mai multe straturi, neglijîndu-se rezistenţele de suprafaţă la trecerea vaporilor, rezistenţa totală la permeabilitatea la vapori se calculează cu expresia:

$$R_v = R_{v_1} + R_{v_2} + \dots + R_{v_n} = \sum_{K=1}^{n} R_{v_K} = \sum_{1}^{n} \frac{d_K}{\delta_K} \qquad (160)$$

în care:

- R_{v_1} , R_{v_2} ... R_{v_k} reprezintă rezistenţele la vapori a straturilor 1,2...K , în m^2.h.mm col Hg/g ;

- d_k , grosimile straturilor componente în m ;

- δ_k , coeficienţii de permeabilitate la vapori de apă a materialelor, din care sînt alcătuite straturile, în g/m.h.mm col Hg.

Elasticitatea (presiunea parţială) vaporilor de apă, în mm col Hg [torr], pe suprafaţa unui strat K , este dată de rela-

ţia:

$$e_k = e_i - \frac{e_i - e_e}{R_{ov}} \cdot \sum_{n=1}^{K} R_{v_n} \quad \text{sau :} \qquad (161)$$

$$e_k = e_i - \frac{\Delta e}{R_{ov}} \cdot \sum_{n=1}^{K} R_{v_n} \qquad (162)$$

în care $\Delta e = e_i - e_e$, diferenţa dintre presiunea vaporilor de apă a aerului interior şi presiunea vaporilor de apă a aerului exterior, în mm col Hg.

$\sum_{1}^{n} R_{v_n} = \sum_{1}^{n} \frac{d_n}{\delta_n}$ este suma rezistenţelor la permeabilitate la vapori a primelor K straturi, de la suprafaţa interioară. în $m^2.h.mm$ col. Hg/g.

Reprezentarea grafică a curbei elasticităţii vaporilor de apă se poate face la scara grosimilor (în cm), figura 66 şi se prezintă în acest caz ca o linie frîntă, sau la scara rezistenţelor la permeabilitate la vapori de apă, reprezentîndu-se ca o linie dreaptă (fig.67).

Cantitatea de vapori de apă sau debitul specific de vapori de apă care trece printr-un element de construcţie, în regim staţionar, se poate calcula cu expresia:

$$p_a = \frac{e_i - e_e}{R_{ov}} = \frac{\Delta e}{R_{ov}} \qquad (163)$$

în care:

- p_a - debitul specific de vapori de apă în g, ce trece prin unitatea de suprafaţă a elementului de construcţie exterior, în timp de o oră, în $g/m^2.h$.

$\Delta e = e_i - e_e$ - diferenţa de presiune parţială a vaporilor de apă din aerul interior e_i şi aerul exterior e_e, în

mm col Hg ;

R_{ov} - rezistenţa totală a elementului de construcţie la trecerea vaporilor, în $m^2 \cdot h \cdot mm\ Hg/g$.

2.2. Calculul la condens pe suprafaţa interioară a elementelor de construcţie.

Pentru evitarea condensului pe suprafaţa interioară a elementelor de construcţie este necesară asigurarea că în condiţiile de exploatare, temperatura (τ_i) pe faţa interioară a elementelor de construcţie nu va coborî sub temperatura de rouă (τ_r).

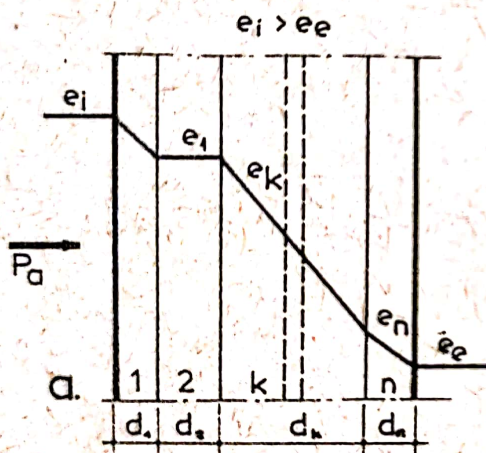


Fig.66. Reprezentarea grafică a curbei elasticităţii vaporilor de apă la scara grosimilor.

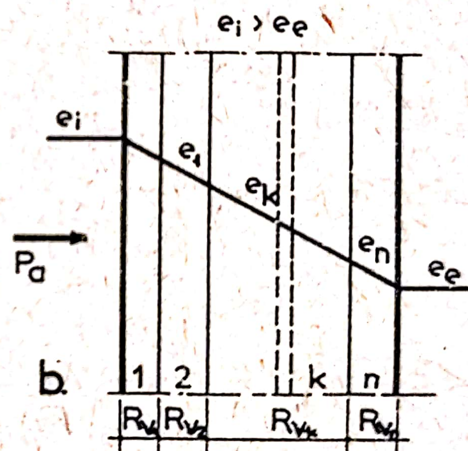


Fig. 67. Reprezentarea grafică a curbei elasticităţii vaporilor de apă la scara rezistenţelor la permeabilitate la vapori de apă.

Asigurarea contra condensului se obţine dacă este verificată inegalitatea:

$$\tau_i > \tau_r \qquad (164)$$

In acest scop este necesar să se calculeze temperatura τ_i a suprafeţei interioare a elementului de construcţie exterior, cu ajutorul expresiei:

$$\tau_i = t_i - \frac{R_i}{R_o} \cdot (t_i - t_e) \qquad (165)$$

în care:

t_i - temperatura de calcul a aerului interior, în ^oC;

R_i - rezistenţa la transmisia căldurii prin convecţie interioară, în $m^2.h.^oC/Kcal.$

R_o - rezistenţa totală la transmisia căldurii prin elementul de construcţie, în $m^2.h.^oC/Kcal.$

t_e - temperatura de calcul a aerului exterior, în ^oC.

La pereţi omogeni,

$$R_o = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \qquad (166)$$

La pereţi neomogeni:

$$R_o = R_i + \sum_1^n R_K + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_1^n \frac{d_K}{\lambda_K} + \frac{1}{\alpha_e} \qquad (167)$$

Cunoscîndu-se temperatura aerului interior (t_i) şi umiditatea relativă a aerului interior (U_{r_i}) se poate determina temperatura de rouă (τ_r) pentru care această umiditate saturează aerul şi determină condensarea vaporilor de apă. Astfel pentru condiţii obişnuite de climat la care $t_i = + 20^oC$, $u_{r_i} = 60$ %, conform datelor din anexa XV, se obţine $e_i = 0,6 \times 17,54 = 10,52$ mm col Hg ce reprezintă elasticitatea maximă (presiunea de saturaţie) pentru + 12^oC, temperatura de rouă. In cazul cînd inegalitatea 164 nu este satisfăcută este necesar să se îmbunătăţească coeficientul de rezistenţă termică R_o.

Debitul specific de vapori ce trece prin elementul de construcție se determină cu relația: (163).

2.3. Calculul condensului în interiorul elementelor de construcție

In cazul transmisiei unidirecționale la difuzie a vaporilor, în regim permanent se poate efectua pe baza ipotezelor lui H.Glaser (15), neglijînd influența căldurii degajate sau absorbite în cursul transformărilor de fază, ipoteza aplicabilă elementelor asimilate cu pereți plani, infiniți, alcătuiți din straturi paralele.

Calculul la condens, în regim staționar, presupune determinarea curbei temperaturilor, stabilirea curbei elasticităților (presiunilor parțiale) vaporilor de apă în elementul de construcție și a curbei presiunilor de saturație a vaporilor de construcție pentru condițiile t_i = const. t_e = const, u_i = const, u_e = const.

Pentru verificarea condensului în interiorul elementelor de construcție se determină următoarele elemente:

- Valorile temperaturilor t , figura 68, cunoscînd că într-o secțiune la distanța "x" de fața interioară a elementelor de construcție, temperatura t_x , se poate determina cu expresia:

$$t_x = t_i - \frac{R_x}{R_o} \cdot (t_i - t_e) \qquad (168)$$

R_x - rezistența termică la transmisia căldurii pînă-n secțiunea x, în $m^2.h.^oC/Kcal$, calculată cu formula 169:

$$R_x = R_i + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{x}{\lambda_2} \qquad (169)$$

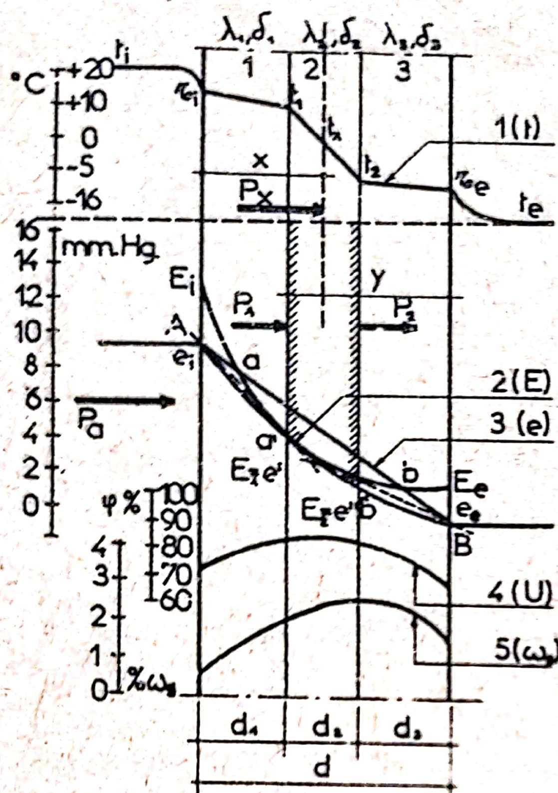


Fig.68. Verificarea la condens a elementelor de construcţie: 1-curba temperaturilor; 2-curba elasticităţilor maxime; 3-curba elasticităţilor parţiale; 4-curba umidităţii relative a aerului în perete; 5-curba umidităţii de sorbţie a elementelor de construcţie.

- Valorile elasticităţilor maxime (E) a vaporilor de apă corespunzător valorilor temperaturilor τ_i, t_1, t_2, τ_e în elementul de construcţie şi avînd în vedere datele din anexa IV.

- Curba elasticităţilor (presiunilor parţiale, e) ale vaporilor de apă plecînd de la elasticitatea e_i corespunzător umidităţii relative a aerului interior u_{r_i} şi e_e corespunzător umidităţii aerului exterior u_{r_e}.

Căderea elasticităţii vaporilor de apă prin elementul de construcţie se calculează cu relaţia:

$$\Delta e_x = \frac{\frac{d_1}{\delta_1} + \frac{x}{\delta_2}}{\sum_{k=1}^{n} \frac{d_k}{\delta_k}} \cdot (e_i - e_e) \qquad (170)$$

în care:

Δe_x - căderea presiunilor parţiale a vaporilor de apă pînă în stratul x, în mm col Hg ;

$\frac{d_1}{\delta_1} + \frac{x}{\delta_2}$ - rezistenţe la permeabilitatea la vapori de apă pînă la stratul x , în $m^2 \cdot h \cdot$mm col Hg/g;

$\sum_{1}^{n} \frac{d_k}{\delta_k}$ - rezistența totală la permeabilitatea la vapori de apă a elementului de construcție, în $m^2.h.mm$ col Hg/g ;

$e_i - e_e$ - căderea totală a presiunilor parțiale a vaporilor de apă, în condițiile de calcul, în mm col Hg ;

Valorile umidităților relative u_r ale aerului din elementele de construcție pe baza relației:

$$U_r = \frac{e}{E} \cdot 100 \qquad (171)$$

Valorile umidităților de sorbție (ω_g) ale elementului de construcție pe baza izotermelor de sorbție caracteristice materialelor putîndu-se estima coeficientul de conductivitate termică a elementelor de construcție, pe straturi, cu ajutorul expresiei(3).

Pentru evitarea condensului este necesar ca pentru orice secțiune a elementului de construcție să avem îndeplinită inegalitatea:

$$e_x < E_x \qquad (172)$$

Verificarea condensului în masa elementului de construcție se poate face și pe calea grafică, construindu-se la o anumită scară curbele e și E. In cazul cînd curbele e, E , se intersectează rezultă că are loc fenomenul de condens. Delimitarea zonei de condens se realizează prin tangentele e_i E_1 (Aa) și e_e E_2 (Bb) la curba presiunilor de saturație care delimitează curba reală a presiunilor, avînd în vedere faptul că în cazul condensului zona " a - b " din curba " $e_i - e_e$" nu mai are sens fizic. Condensarea vaporilor are loc în limitele a' b' care corespund valorilor $e' = E_1$ și $e' = E_2$ rezultate, ducînd tangentele din A și B la curba presiunilor de saturație.

Debitul specific de vapori P_1 care intră în zona de condens în cadrul unui element de construcție în mai multe straturi este:

$$P_1 = \frac{e_i - E_1}{\frac{d_1}{\delta_1}} = \frac{e_i - E_1}{R_{v_1}} \qquad (173)$$

sau în general:

$$P_x = \frac{e_i - E_x}{R_{v_x}} \qquad (174)$$

Debitul specific de vapori de apă P_2 care ies din zona de condens este:

$$P_2 = \frac{E_2 - e_e}{\frac{d_3}{\delta_3}} = \frac{E_2 - e_e}{R_{v_3}} \qquad (175)$$

sau în general:

$$P_{x,e} = \frac{E_x - e_e}{R_{v_{x,e}}} \qquad (176)$$

în care:

- $R_{v_{x,e}}$ - Rezistența la permeabilitatea de vapori de apă din secțiunea ce delimitează spre exterior zona de condens pînă la fața exterioară a elementului de construcție, în m^2.h,mm col Hg/g.

Debitul specific de vapori de apă P_a care condensează este dat de relația:

$$P_a = P_1 - P_2 = \frac{e_i - E_1}{R_{v_1}} - \frac{E_2 - e_e}{R_{v_3}} \qquad (177)$$

In cazul folosirii metodelor grafice pentru determinarea zonei de condens în regim staționar, reprezentarea elementului de construcție se poate face la scara grosimilor (fig.69-a) sau a permeabilității la vapori, (fig.69-b).Determinarea pe cale grafică se referă la curba elasticității parțiale a vaporilor de apă și a elasticității reale în cazul cînd rezultă zone susceptibile de condens.

Cantitatea totală de vapori de apă P_A , ce se acumu-

lează în elementul de construcţie, în perioada de iarnă, se calculează cu expresia:

$$P_A = T_i \cdot 24 \cdot P_a \qquad (178)$$

în care:

T_i - durata perioadei de iarnă cu temperatura de calcul ce poate produce condens, în zile;

P_a - debitul specific de vapori determinat după metoda regimului staţionar în $g/m^2.h$.

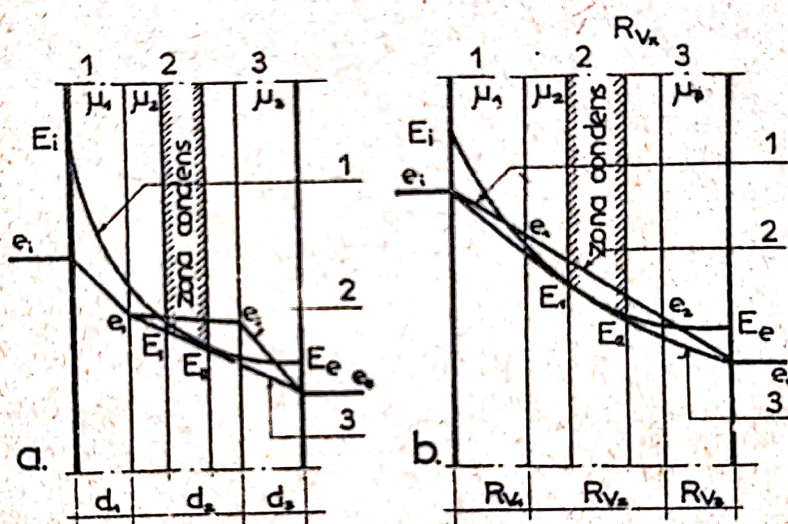


Fig.69. Determinarea zonei de condens prin metode grafo-analitice: a) la scara grosimilor; b) la scara permeabilităţii la vapori. 1- curba elasticităţii maxime; 2- curba elasticităţii parţiale; 3- curba elasticităţii reale.

Debitul specific de vapori de apă P'_a care poate fi eliminat în condiţii de vară, este dat de relaţia:

$$P'_a = P_1 + P_2 = \frac{e_i - E_1}{R_{v_1}} + \frac{E_2 - e_e}{R_{v_3}} \qquad (179)$$

Cantitatea totală de vapori de apă, P'_A ce poate fi eliminată din elementul de construcţii, în condiţii de vară, se

poate estima folosind expresia:

$$P_A' = T_v \cdot 24 \cdot P_e' \qquad (180)$$

în care:

- T_v, numărul de zile, din perioada de vară, în care există condiţii de eliminare a apei din structura elementului de construcţie.

Condiţia de exploatare normală a construcţiei şi de evitare a umezirii excesive implică asigurarea egalităţii între cantitatea de apă ce condensează iarna şi cantitatea de apă ce poate fi eliminată vara, ceea ce se poate exprima astfel:

$$P_A \cong P_A' \qquad (181)$$

2.4. Procesul de umezire şi uscare a elementelor de construcţie, în regim nestaţionar.

Umezirea şi uscarea elementelor de construcţie este un fenomen complex, în decursul căruia se satisfac legăturile menţionate şi se echilibrează nivelele de presiune a vaporilor de apă, sub acţiunea simultană a cîmpurilor de tensiune de absorbţie, tensiunii superficiale a apei, a gradientului de temperatură, a tendinţei de difuzie şi a gravităţii. Migrarea apei în materiale are loc prin acţiunea curenţilor din spaţiile goale cît şi prin difuzie. In mod simplificat fenomenul poate fi studiat analitic, în primă aproximaţie, pe baza ecuaţiei diferenţiale:

$$\frac{\partial e}{\partial T} = K \cdot \left(\frac{\partial^2 e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial z^2}\right) \qquad (182)$$

în care:

- e, elasticitatea parţială a vaporilor de apă;
- x, y, z, coordonate spaţiale ;
- T, timpul ;

- K, coeficientul de difuzie a umidităţii, în m^2/h, definit de expresia:

$$K = \frac{\delta}{\xi \cdot \rho} \qquad (183)$$

în care:

- δ, coeficientul de conductivitate la vaporii de apă, în g/m.h.mm col Hg ;

- ξ, capacitatea specifică de vapori, în g/Kg mm col Hg ;

- ρ, greutatea specifică aparentă în Kg/m^3.

In cazul curent al difuziei vaporilor de apă, după o direcţie, variaţia elasticităţii parţiale a vaporilor de apă şi deci a umidităţii materialului este exprimată de relaţia:

$$\frac{\partial e}{\partial T} = \frac{\delta}{\xi \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} \qquad (184)$$

In vederea rezolvării ecuaţiei diferenţiale (184), prin diferenţe finite, se admit următoarele aproximaţii:

- coeficientul de conductivitate la vapori de apă este constant ;

- temperaturile t_i şi t_e ale aerului interior şi exterior sînt constante;

- cîmpul termic în masa elementului de construcţie se consideră constant deoarece condiţiile transmisiei termice se stabilesc mai repede decît condiţiile difuziei vaporilor de apă.

In diferenţe finite relaţia (185) se prezintă sub forma:

$$\frac{\Delta e}{\Delta T} = \frac{\delta}{\xi_o \cdot \rho} \cdot E_t \cdot \frac{\Delta^2 e}{\Delta x^2} \qquad (185)$$

S-a înlocuit ξ prin produsul $\xi_o \cdot \frac{1}{E_t}$ în care ξ_o este capacitatea specifică de vapori în funcţie de elasticitatea maxi-

mă a vaporilor de apă E_t corespunzător temperaturii t din stratul considerat.

Pentru soluţionarea ecuaţiei cu diferenţe finite (185) în cazul elementelor omogene, acestea se consideră împărţite în straturi de grosime Δx(fig.70) în trei secţiuni succesive n - 1, n, n + 1 ale elementului omogen, elasticitatea vaporilor de apă, e_n la timpul $T + \Delta T$ în straturi n , se calculează cu expresia:

$$e_{n,T+\Delta T} = e_{n,T} + (e_{n-1,T} + e_{n+1,T} - 2e_{n,T}) \cdot E_n \cdot \frac{\delta}{\varphi_o \cdot \varsigma} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x^2} \quad (186)$$

în care:

- $e_{n,T}$; $e_{n-1,T}$; $e_{n+1,T}$, elasticităţile vaporilor de apă la timpul T;

- E_n , elasticitatea maximă a vaporilor de apă corespunzătoare temperaturii suprafeţei n.

Dacă se consideră intervalul de timp ΔT egal cu ΔT_{max}, conform expresiei:

$$\Delta T_{max} = \frac{\Delta x^2}{2 \cdot \frac{\delta}{\varphi_o \cdot \varsigma} \cdot E_n} \quad (187)$$

elasticitatea vaporilor de apă la timpul $T + \Delta T$ este dată de relaţia:

$$e_{n,T+\Delta T} = \frac{e_{n-1,T} + e_{n+1,T}}{2} \quad (188)$$

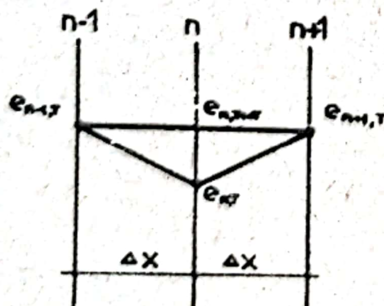


Fig.70. Linia elasticităţii vaporilor de apă la elemente omogene.

Relaţia (188) exprimă că elasticitatea vaporilor de apă pe suprafaţa n, la intervalul de timp $T + \Delta T_{max}$ este egală cu semisuma elasticităţilor vaporilor de apă pe suprafeţele învecinate n - 1, n + 1 la timp T, ceea ce constituie principiile metodei grafice de determinare a variaţiei elasticităţii vapo-

rilor de apă şi deci a umidităţii în elementul de construcţie.

In stratul n, umiditatea relativă a aerului este:

$$u_n = \frac{e_n}{E_n} \qquad (189)$$

Pe baza izotermelor de sorbţie ale materialelor se calculează umidităţile ω_n ale elementelor de construcţie la timpul $T + \Delta T$.

Dacă $e_n > E_n$, are loc fenomenul de condens şi la calculul umidităţii materialului se va lua în considerare umiditatea de saturaţie corespunzător la $u_n = 100$ %, la care se adaugă cantitatea de umiditate condensată.

In probleme plane de difuzie a vaporilor de apă, în regim permanent sau variabil, · poate avea în vedere posibilitatea analizei fenomenelor de condens luînd în considerare cercetările realizate la Iaşi de A.Radu (22) bazate pe extinderea metodelor analogice electrice la studiul higrotermic al elementelor de construcţie.

In acest caz, pentru probleme plane, considerînd C şi D constante, iar T şi R_D, variabile cu x şi y, ecuaţiile, în regim staţionar şi variabil, privind difuzia vaporilor prin elementele de construcţii, se prezintă sub formele (190),(191) cu condiţia ca $e < E$.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{TR_D}\frac{\partial e}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{TR_D}\frac{\partial e}{\partial y}\right)=0 \qquad (190)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{TR_D}\frac{\partial e}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{TR_D}\frac{\partial e}{\partial y}\right)=P_a(x,y) \qquad (191)$$

în care $P_a\,(x,y)$ reprezintă cantitatea de apă condensată în elementul de construcţie.

In afara zonei de condens P_a $(x,y) = 0$. La limita între zonele cu şi fără condens, există condiţia :

$$S\left|\frac{\partial e}{\partial n}\right| = S\left|\frac{\partial E}{\partial n}\right| \qquad (192)$$

Delimitarea zonelor cu şi fără condens, care admit ecuaţii diferite se face pe baza unui calcul laborios, în mai multe etape, putîndu-se adapta la maşinile de calcul cifric sau experimental prin folosirea metodei de modelare electrică. In acest caz se are în vedere ecuaţia cîmpului electric plan, în regim variabil:

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(C_e \frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(C_e \frac{\partial V}{\partial y}\right) = i(x,y) \qquad (193)$$

respectîndu-se condiţiile de similitudine similare cercetării problemelor termice plane cu observaţia că în cazul fenomenelor de difuzie valoarea potenţialului nu poate depăşi mărimile corespunzătoare presiunilor de saturaţie din punctele respective, ce sînt funcţie de temperatură.

D. SCHIMBUL DE AER IN CONSTRUCTII.

1. Generalităţi.

Permeabilitatea la aer a elementelor de construcţie caracterizează schimbul de aer pe cale naturală între încăperile clădirilor şi mediul ambiant şi interesează în legătură cu aprecierea capacităţilor de ventilare în raport cu asigurarea condiţiilor de confort şi tehnologie. Un om adult, în condiţii normale de temperatură consumă 2o-25 l de oxigen pe oră, atunci cînd efectuează un lucru mecanic mijlociu (5000 Kg fm/h) (11,23).

Necesarul de aer din încăperi pentru compensarea consumului de oxigen trebuie calculat avîndu-se în vedere că în urma combustiei interne, omul degajă bioxid de carbon, amoniac, amine

grase, sulf şi vapori de apă.Ţinînd seama de cerinţele igienice în clădirile civile şi social-culturale şi de cerinţele tehnologice în încăperile de producţie este necesar ca aerul interior să-şi păstreze componenţa sa în limite acceptabile.Aerul natural pe care-l inspiră omul se compune din oxigen 20,9 %, azot şi argon 78, 77 %,acid carbonic 0,35 % şi o cantitate variabilă de vapori de apă.Aerul expirat conţine în medie oxigen 15,4 %, azot şi argon 78,11 %, acid carbonic 4,4 % şi este saturat cu vapori de apă.

Pentru asigurarea condiţiilor de viaţă este indicat ca oxigenul din aer să nu coboare sub 17 % .La procentul de 11% oxigen în aer, omul rezistă o durată limitată.Limita maximă privind cantitatea de CO_2 pe care o poate conţine aerul dintr-o încăpere pentru a putea permite prezenţa omului, pe timp limitat, este de 40 % , iar la şederea mai îndelungată 1...2 %.Pentru confort superior conţinutului aerului în CO_2 trebuie să fie sub o,oo3%.

Pentru asigurarea condiţiilor normale în încăperi în ceea ce priveşte compoziţia aerului, este necesar ca ventilarea pe cale naturală să asigure următoarele schimburi pe oră ale volumului de aer din încăperi, în funcţie de destinaţia acestora.

- Bucătării......(2...3) V/h ;
- Baie,duş ....(2..3) V/h ;
- Grup sanitar în locuinţe.... 25 mc/scaun ;
- Cameră de locuit....(o,5...o,75) V/h.

La structurile tradiţionale de pereţi din zidării ceramice, porozitarea naturală a materialelor ceramice asigurau ventilaţia naturală a încăperilor, fără o preocupare specială prin proiectare.Adoptarea unor structuri noi bazate pe folosirea betonului vibrat şi a structurilor din materiale impermeabile fac ca problema permeabilităţii la aer a elementelor de construcţie

să fie actuală. In anumite cazuri problema se poate pune sub aspectul unei permeabilităţi prea mari a elementelor de construcţie. Astfel la structurile elementelor ceramice microfisurile din contracţie sînt repartizate uniform în masa materialelor şi conduc la o permeabilitate de aer acceptabilă practic. La structuri de elemente monolite sau chiar din prefabricate din beton armat pot avea loc concentrări ale fisurilor în anumite secţiuni, în special la îmbinări, care pot avea influenţă defavorabilă asupra permeabilităţii locale la aer a elementelor de construcţii.

Gradul de permeabilitate la aer a elementelor de construcţie este influenţat de rezistenţa la permeabilitatea la aer a elementelor în funcţie de structura fizică a materialelor, de neetanşeităţile ferestrelor, de condiţiile de climat interior şi exterior, în primul rînd de acţiunea vîntului.

In funcţie de destinaţia încăperilor, de condiţiile de climat şi de etanşeitatea elementelor de construcţie, ventilaţia naturală se asigură prin canalele de ventilaţie, orificii de ventilaţie în pereţi şi prin deschiderea sistematică a uşilor şi ferestrelor. Pentru ca viteza aerului să nu fie jenantă fizic, se recomandă să nu depăşească 0,5...1,0 m/s.

1.1. Baza fizică a schimbului de aer din încăperi.

Schimbul de aer între încăperile unei construcţii şi mediul înconjurător se datoreşte diferenţei de presiune între aerul interior şi aerul exterior. Diferenţa de presiune Δp între aerul interior şi exterior este de natură termică sau provocată de acţiunea vîntului pe suprafaţa exterioară a elementului de construcţie.

Presiunea termică se datoreşte faptului că la aceeaşi presiune barometrică, aerul exterior este mai greu, fiind mai rece, în comparaţie cu aerul interior care este mai cald. Datorită

diferenţei de temperatură şi deci de greutate, ia naştere o diferenţă de presiune (fig.71), care la distanţa h de axa neutră prezintă valoarea:

$$\Delta p = h \cdot (\rho_i - \rho_e) \qquad (194)$$

în care:

- h , distanţa de la planul neutru pînă la secţiunea considerată în mm ;

- ρ_e , ρ_i , greutatea specifică a aerului, în Kg/m^3 , care la presiunea barometrică de 760 torri se va lua conform datelor din anexa XXI.

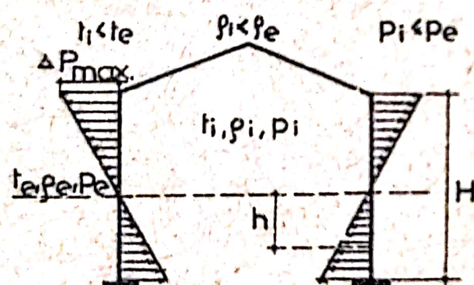


Fig.71.Presiunea aerului în încăperi

Greutatea specifică a aerului ρ_a , se poate calcula în funcţie de temperatură cu relaţia:

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + t/273} \qquad (195)$$

In cazul cînd nu sînt ferestre deschise şi elementele de construcţie au aceeaşi permeabilitate pe toată înălţimea, diferenţa maximă de presiune rezultă :

$$\Delta p_{max} = 0,5 \cdot H \cdot (\rho_e - \rho_i) \qquad (196)$$

Pentru transformarea unităţilor de măsură a presiunii aerului din Kg/m^2, în torri se are în vedere relaţia:

$$P\ (Kg/m^2) = 13,595 \cdot p\ (torri) \qquad (197)$$

Presiunea datorită vîntului, se calculează cu relaţia:

$$\Delta p_v = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \cdot \frac{V^2 \rho_a}{2g} \qquad (198)$$

în care:

- η_1, η_2 coeficienţii aerodinamici avînd valorile $\eta_1 = 0,80$ pentru partea bătută de vînt şi $\eta_2 = 0,4$ pentru partea opusă;

- v, viteza vîntului, în m/sec ;

- ρ_a, greutatea specifică a aerului, în Kg/m^3 ;

- g , acceleraţia gravitaţiei egală cu 0,81 m/sec^2.

Pentru viteza vîntului cuprinsă între 1 şi 15 m/sec, Δp_v în mm col H_2O se poate lua din tabelul 2:

Tabelul 2

Diferenţa de presiune Δp_v datorită vîntului.

v m/sec	1	2	4	7	10	15
Δp mm col H_2O	0,04	0,16	0,64	1,96	4,00	9,00

1.2. Caracteristicile de permeabilitate la aer a elementelor de construcţii.

Permeabilitatea la aer a materialelor de construcţie se exprimă prin coeficientul "i" de permeabilitate, care reprezintă cantitatea de aer ce trece printr-un cub de material cu latura de 1 m, timp de o oră şi pentru o diferenţă de presiune între suprafeţele opuse, de 1 mm col H_2O , avînd dimensiunea Kg/m.h. .mm col H_2O.

Permeabilitatea la aer P_a , în Kg/m^2.h.mm col H_2O, a elementului de construcţie omogen de grosime "d" este dată de relaţia:

$$P_a = \frac{i}{d} \qquad (199)$$

Rezistența la permeabilitatea la aer a unui element omogen de construcție, în $m^2h.mm$ col H_2O/Kg, este inversul permeabilității la aer:

$$R_a = \frac{1}{P_a} = \frac{d}{i} \qquad (200)$$

Pentru principalele materiale de construcție se prezintă rezistențele la permeabilitate la aer în anexa XXII, cuprinse între 0,2 $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg (vată minerală de 5 cm) și 2000 $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg (beton de 10 cm grosime).

Rezistența efectivă la infiltrația aerului prin elementele de construcție exterioare, în mai multe straturi, se calculează cu expresia:

$$R_{a_{ef}} = R_{a_1} + R_{a_2} + \ldots + R_{a_n} = \sum_{i=1}^{n} R_{a_i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{i} \qquad (201)$$

în care:

- R_{a_i} rezistența efectivă la infiltrația aerului a unui strat component, în $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg.

Debitul specific de aer W, în $Kg/m^2.h$ ce trece printr-un element de construcție este:

$$W = i \cdot \frac{\Delta p}{d} = \frac{\Delta p}{R_{a_{ef}}} \qquad (202)$$

în care:

- $R_{a_{ef}}$, rezistența efectivă la trecerea aerului prin elementul de construcție, în $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg ;

- Δp, diferența de presiune între aerul interior și exterior în mm col H_2O.

1.3. Calculul permeabilității la aer a construcțiilor conform prescripțiilor.

La calculul permeabilității la aer a construcțiilor in-

tervine în primul aspectul limitării schimbului de aer, între interiorul şi exteriorul încăperilor, pentru ca pierderile de căldură a elementelor exterioare de construcţie să nu depăşească 5% pentru construcţii civile şi de locuit şi 10% pentru construcţii industriale.

In acest scop este necesar să se asigure respectarea relaţiei:

$$R_{a_{ef}} \cong R_{a_{nec}} \qquad (203)$$

în care:

- $R_{a_{ef}}$, rezistenţa la permeabilitatea la aer a elementelor de construcţie, în $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg, conform anexei XXII ;

- $R_{a_{nec}}$, rezistenţa necesară la permeabilitatea la aer a elementelor exterioare de construcţie care se calculează în funcţie de rezistenţa termică necesară $R_{o\ nec}$ ($m^2.h.^{\circ}C/Kcal$) şi viteza v (m/sec) a vîntului, în $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg.

Pentru pereţii exteriori, acoperişurile-terasă şi planşeele peste gangurile clădirilor publice şi de locuit, $R_{a_{nec}}$ se va lua:

$$R_{a_{nec}} = n.v^2.R_{onec} \qquad (204)$$

în care:

- n, factor egal cu o,1o pentru clădiri publice şi de locuit încălzite şi cu o,o5 pentru clădirile industriale încălzite ;

- v, viteza de calcul a vîntului din zona geografică respectivă, însă minim 5 m/sec ;

Folosirea pereţilor exteriori cu o permeabilitate la aer superioară la o,4 $m^3/m^2/h$ pentru o diferenţă de presiune a aerului de 1 mm coloană H_2O este neindicată.

Pentru planşeele de pod şi planşeele deasupra solului din clădirile încălzite:

$$R_{a_{nec}} = 0,75 \cdot R_{onec} \qquad (205)$$

Pentru straturile pereţilor exteriori care separă straturile de aer ce nu comunică cu aerul exterior condiţia de rezistenţă la permeabilitatea la aer este :

$$R_{a_{nec}} = 0,008 \cdot v^2 \qquad (206)$$

Pentru elementele care separă straturile de aer în pereţii exteriori se prescrie :

$$R_{a_{nec}} = 0,2 \cdot v^2 \qquad (207)$$

La rosturile dintre elementele exterioare de construcţie din panouri mari la clădiri civile şi de locuit, rezistenţa necesară la permeabilitatea la aer este:

$$R_{a_{nec}} = 0,13 \cdot v^2 \cdot R_{onec} \qquad (208)$$

Partea exterioară a elementului exterior de construcţie având grosimea egală cu 1/4 din grosimea totală a elementului trebuie să aibă rezistenţa la permeabilitatea la aer egală cu :

$$R_{a_{nec}} = 0,03 \cdot v^2 \qquad (209)$$

1.4. Ventilaţia naturală a încăperilor.

Ventilaţia naturală a încăperilor se asigură prin :

- porozitatea elementelor de construcţie;
- deschiderea ferestrelor şi uşilor exterioare;
- neetanşeitatea ferestrelor şi uşilor exterioare;
- orificii în pereţii exteriori ai încăperilor ;

- canale de ventilaţie ce funcţionează datorită diferenţei de presiune produsă de vînt sau temperatură.

a. Ventilaţia naturală datorită porozităţii materialelor

Ventilaţia încăperilor datorită porozităţii materialelor este funcţie de compactitatea acestora şi structura constructivă a elementelor de construcţie. La materialele ceramice porozitatea naturală asigură schimbul normal de aer şi vapori de apă, ce permite menţinerea purităţii şi umidităţii în limite acceptabile din punct de vedere al confortului. Structurile de pereţi din beton armat prefabricat sau monolit, datorită permeabilităţii reduse la aer şi vapori de apă, implică organizarea ventilaţiei pe cale naturală prin ferestre, orificii şi canale, în special în încăperile umede, pentru asigurarea condiţiilor de igienă şi confort. In cazul pereţilor perfect etanşi (sticlă, panouri aluminiu, etc.) este necesară ventilaţia aerului cu instalaţii mecanice de aer condiţionat.

b. Ventilaţia naturală prin deschiderea ferestrelor şi uşilor.

Ventilaţia naturală a încăperilor prin deschiderea ferestrelor se face pe o durată scurtă în timpul iernii şi pe o durată mai mare vara. Prin deschiderea sistematică a ferestrelor şi uşilor se asigură condiţii de aerisire corespunzătoare pentru a se asigura compoziţia naturală a aerului şi conţinutul de umiditate.

c. Ventilaţia naturală prin neetanşeitatea pereţilor şi uşilor exterioare.

Sub acţiunea vîntului, aerul exterior pătrunde în încăperi datorită neetanşeităţii uşilor şi ferestrelor şi în oarecare măsură şi prin rosturile de construcţie.

D I N 4701 prescrie pentru calculul permeabilităţii la

aer a rosturilor de îmbinare ale ferestrelor, relaţia:

$$D = a.L.(\Delta p)^{\frac{2}{3}} \qquad (210)$$

în care:

- D, debitul de aer în m^3/h ;
- a, coeficientul de permeabilitate la aer ;
- L, lungimea rostului de îmbinare, în m ;
- Δp , diferenţa de presiune dintre aerul interior şi exterior în mm H_2O ;

d. Ventilaţia încăperilor prin orificii în pereţii exteriori.

Ventilarea naturală organizată, bazată pe acţiunea simultană sau independentă a temperaturii şi vîntului se poate aplica atît la clădiri civile şi social-culturale, la încăperi cu degajări mari de vapori de apă, cît şi la clădiri industriale.

Cantitatea de aer ce trece prin orificiul de secţiune A, în m^2, sub acţiunea diferenţei de presiune dintre aerul interior şi exterior $\Delta p = h.(\rho_e - \rho_i)$ Kgf/m^2, este dată de relaţia:

$$D = A.m.\sqrt{\frac{2.g.h.(\rho_e - \rho_i)}{\rho_e}} \qquad (211)$$

în care:

- m, coeficient de trecere şi de strangulare a curentului de aer, cu valoarea o,64 pentru orificii de secţiune dreptunghiulară ;
- h, distanţa de la planul neutru la axul orificiului, în m ;
- ρ_i , ρ_e , densitatea aerului interior şi exterior, în în Kg/m^3.

e. Ventilaţia naturală prin canale de ventilaţie.

Ventilaţia naturală a încăperilor prin canale de

ventilaţie depinde de permeabilitatea la aer a orificiilor şi de pierderile de sarcini ce intervin şi care sînt:

- locale (intrare, ieşire, coturi, traseele conductelor) ;

- liniare, pe pereţii orificiilor, datorită frecărilor.

Pentru calculul debitului de aer prin canale se poate folosi relaţia experimentală a lui Reiher :

$$D = 2.L.\frac{b}{h^2} \cdot \left(\frac{\Delta p}{h}\right)^{\frac{2}{3}} \qquad (212)$$

în care:

- D, debitul de aer în orificiu, în m^3/h ;
- L, lungimea canalului, în m ;
- b, lăţimea canalului în m ;
- h, înălţimea canalului, în m ;
- Δp, diferenţa de presiune, în mm col H_2O.

După normele britanice debitul de aer prin canalele de ventilaţie se calculează cu expresia :

$$D = \eta \cdot 2200 \cdot A \cdot V \qquad (213)$$

în care:

- A, suprafaţa canalului, în m^2 ;
- V, viteza aerului, în m/s ;
- η, coeficient în funcţie de raportul dintre suprafaţa canalului de ventilaţie la intrare A_i şi ieşire A_e, conform tabelului 3.

Tabelul 3

A_i/A_e	1	2	4	5	3/4	1/2	1/4
η	1	1,25	1,37	1,4	0,86	0,64	0,35

In cazul vîntului la 45°, debitul de aer este diminuat la jumătate.

Viteza aerului în m/s prin canalele de ventilaţie se calculează cu relaţia simplificată:

$$V = 0,25 \cdot \sqrt{h.(t_e - t_i)} \qquad (214)$$

în care:

- h, înălţimea activă a canalului, în m ;
- t_i, t_e temperaturile aerului interior şi exterior ; în °C ;

Cantitatea de aer ce urmează a se lua calcule rezultă din numărul schimburilor de aer pe oră ce urmează a fi asigurat, în raport cu destinaţia încăperilor :

- bucătării............. 3 schimburi/h sau 60 m^3/h ;
- baie, duş............. 3 " " sau 30 m^3/h ;
- camera de locuit......0,5...0,75 schimburi/h sau 60 m^3/h.

Cînd calculul canalelor de ventilaţii se face numai pe baza presiunii dată de gravitaţie, în condiţia egalităţii suprafeţelor gurilor de absorbţie şi refulare în pereţi, se poate folosi relaţia simplificată;

$$D = 420 \sqrt{H \cdot \Delta t} \qquad (215)$$

- D , debitul aerului, în $m^3/h.m^2$;
- H , distanţa pe verticală între centrele orificiilor de absorbţie şi refulare, în m ;
- Δt, diferenţa de temperatură între aerul interior şi exterior în °C .

E. CARACTERISTICILE HIGROTERMICE ALE PEREȚILOR ȘI ACOPERIȘURILOR

1. Caracteristicile higrotermice ale pereților.

Comportarea higrotermică a pereților depinde de caracteristicile fizice ale materialelor folosite și de modul de alcătuire a structurilor. Pereții omogeni prezintă în general o comportare bună din punct de vedere a rezistenței termice, a permeabilității la vapori de apă și aer, dacă materialele folosite au densitatea aparentă cuprinsă între 1200 și 1800 Kg/m^3, iar condițiile de microclimat sînt în limite obișnuite t_i = 18°... 22° (18° în camere de zi, 22° în băi și 22° la confort superior și U_i = 50%..60%). In condiții de umiditate mai mare este necesară protecția interioară cu bariere de vapori.

La structuri neomogene de pereți, în maimulte straturi, din materiale cu densități aparente variate, dela ρ = 30 Kg/m^3 în cazul polistirenului expandat la ρ = 2400 Kg/m^3, în cazul betonului vibrat, folosit la panouri mari și structuri monolite, trebuie avute în vedere anumite principii relativ la comportarea higrotermică care condiționează exploatarea normală a clădirilor. Aceste principii se referă la rezistența termică minimă, comportarea structurilor în zona punților și la colțuri, permeabilitatea la vapori de apă și caracteristicile de amortizare și defazaj a oscilațiilor termice.

1.1. Rezistența minimă necesară.

La determinarea rezistenței termice minime a pereților se are în vedere inegalitatea:

$$R_{onec} > R_{ef} \qquad (216)$$

în care: R_{onec} , rezistența termică necesară și R_{ef}, rezistența termică efectivă, în $m^2.h.^oC/Kcal$.

$$R_{onec} = \frac{t_i - t_e}{\alpha_i \cdot \Delta\tau_i \cdot m \cdot n \cdot b} \qquad (217)$$

iar:

- m , coeficient de corecție în funcție de nasivitatea peretelui conform datelor din capitolul Higrotermica ;

- n , coeficient de corecție, în funcție de poziția elementului de construcții, avînd valoarea 1 în cazul pereților ;

- b , coeficient de corecție, în funcție de natura materialului termoizolant, luînd în considerare creșterea conductivității datorită tasării.

Valorile coeficientului " b " se vor lua:

b = 1,2 pentru elemente exterioare, izolate termic cu materiale supuse îndesării, deformării și tasării, cum sînt vata minerală, poliistiren expandct, etc ;

b = 1,1 pentru elemente exterioare izolate cu materiale avînd ρ = 400 Kg/m^3 ;

b = 1 pentru alte elemente de construcții.

Pentru clădiri de locuit, spitale, grădinițe de copii orașe, considerînd t_i = + 20°C și $\Delta\tau_i$ = 6 °C, anexa II, capitolul Higrotermica R , în funcție de t_e (pentru zonele climatice din R.S.România - I-a, II-a, III-a) rezultă conform datelor din tabelul 4.

Tabelul 4

Zona climatică	Temperatura exterioară de calcul °C	Rezistența termică necesară în $m^2.h.^oC/Kcal$
I-a	- 12	0,76

II - a	- 15	0,83
III - a	- 18	0,90

Pentru clădiri publice, teatre, cinematografe, şcoli, cluburi, anexe social-culturale, pentru $t_i = + 18^0 C$ şi $\Delta \tau_i = 7^0 C$, R_{onec}, rezultă, conform valorilor din tabelul nr.5

Tabelul 5

Rezistenţa termică minimă necesară R_{onec} la clădiri publice.

Zona climatică	Temperatura exterioară de calcul ^0C	Rezistenţa termică necesară $m^2.h.^0C/Kcal$
I-a	- 12	0,61
II-a	- 15	0,67
III-a	- 18,	0,74

La structuri de pereţi omogeni cu tencuială şi la pereţi în mai multe straturi, perpendiculare pe direcţia fluxului termic, rezistenţa termică efectivă R_{ef}, se calculează cu expresia:

$$R_{ef} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^{n} \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e} \qquad (218)$$

La pereţi din zidării de cărămidă cu găuri este necesar să se cunoască conductivitatea termică echivalentă (λ_{ech}) a materialului de bază. Pentru blocuri şi cărămizi ceramice cu $\lambda_c = 0,70$ Kcal/m.h.^{0}C se poate determina λ_{ech} ... în funcţie de forma, dimensiunile şi procentul volumului de găuri, pe baza modelării analogice electrice, folosindu-se relaţia:

$$\lambda_{ech} = 0,65 - 0,8 \cdot p \qquad (219)$$

în care:

- p, procentul volumului de găuri verticale, cuprins între 0,15 şi 0,40.

La pereţi din zidărie cu blocuri mici cu găuri, comportarea termică este funcţie şi de orientarea găurilor. Astfel la pereţi din blocuri cu găuri verticale, rezistenţa termică şi rezistenţa meacanică de compresiune sînt maxime (fig.72), avînd în vedere poziţia în perete a materialelor. Rezistenţa mecanică a blocurilor cu găuri orizontale este minimă iar pierderile de căldură sînt mari datorită transmisiei căldurii prin convecţie orizontală a aerului din găuri (fig.72-b).

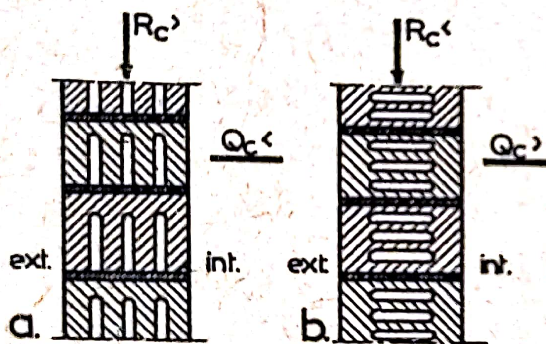


Fig.72. Rezistenţa la compresiune şi rezistenţa termică la pereţi din blocuri cu găuri: a) găuri verticale; b) găuri orizontale.

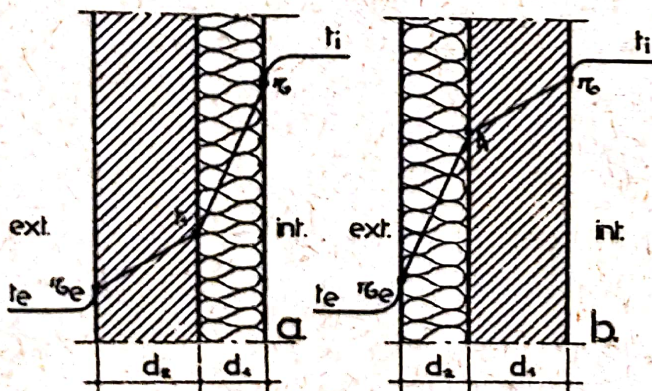


Fig.73. Influenţa poziţiei izolaţiei termice la pereţi în 2 straturi: a) izolaţia la interior ; b) izolaţia la exterior.

In funcţie de caracteristicile găurilor, pentru "p" cuprins între 15% şi 30%, se poate ob-

ţine o creştere a eficienţei termice a cărămizilor şi blocurilor ceramice cu 23% pînă la 112%.

Pentru calculul rezistenţei termice a pereţilor din zidărie eficientă este necesar să se determine coeficientul mediu de conductivitate termică a zidăriei, ce se poate face cu relaţia:

$$\lambda_{med.zid} = \frac{\lambda_{ech} \cdot V_{bloc} + \lambda_{mor} \cdot V_{mor}}{V_{bloc} + V_{mor}} = K_1 \cdot \lambda_{ech} + K_2 \cdot \lambda_{mor} \quad (220)$$

în care:

- λ_{med} zid, coeficientul de conductivitate termică a zidăriei, în Kcal/m.h.°C ;

- λ_{ech} bloc, coeficientul echivalent de conductivitate termică a cărămizilor şi blocurilor ceramice, în Kcal/m.h.°C ;

- λ_{mor} coeficientul de conductivitate termică a mortarului, în Kcal/m.h.°C ;

- V_{bloc} volumul de cărămizi sau blocuri, corespunzător la 1 mc de zidărie, exprimat în m^3 ;

- V_{mor} volumul de mortar corespunzător la 1 mc de zidărie exprimat în m^3 ;

- K_1 , K_2, coeficienţi care sînt prezentaţi în tab.6

Rezistenţa termică efectivă a peretelui din zidărie eficientă, fără tencuială, este:

$$R_{ef} = R_i + \frac{d}{\lambda_{med\,.\,zid}} + R_e \qquad (221)$$

în care:

- d, grosimea peretelui în cm.

1.2. Influenţa poziţiei straturilor de izolaţie termică în pereţi, în condiţii de regim termic staţionar.

La structuri de pereţi în straturi fără punţi poziţia

Tabelul 6.

Coeficienții K_1 și K_2 de calcul pentru conductivitatea medie a zidăriei de cărămidă si blocuri.

nr. crt.	TIPUL DE CARAMIDA	K_1	K_2
1.	zidărie de cărămidă obișnuită	0.75	0.25
2	zidărie din blocuri mari	0.84	0.16

stratului termoizolant depinde în mare măsură de regimul de încălzire al clădirii.La structuri de pereți în două straturi, fig.73, izolația termică dispusă la interior conduce la diferențe mari de temperatură pe grosimea izolației, $\Delta t_1 = \tau_i - t_1$ și la diferențe mici pe grosimea betonului, $\Delta t_2 = t_1 - \tau_e$. Se remarcă deci inegalitatea $\Delta t_1 > \Delta t_2$. Stratul de beton dispus la exterior suportă integral efectul variațiilor de temperatură a aerului și efectul variației solare.In condiții de iarnă betonul este supus înghețului.Incălzirea încăperii se realizează repede,structura de perete cu izolație la interior fiind judicioasă deci la încălzire discontinuă.La încetarea funcționării instalației răcirea încăperii este rapidă.Efectul de transmisie termică a căldurii de la exterior la interior este redus.

La peretele cu izolație termică dispusă la exterior fig.73 b, betonul este mai cald și structura este judicioară la regim continuu de încălzire.Incălzirea pereților se face mai greu avînd în vedere masa mare a stratului portant interior din beton. Avînd în vedere protecția termică exterioară răcirea peretelui se face mai greu.Variațiile rapide ale temperaturii aerului exterior nu acționează brusc asupra aerului încăperii.

Deformațiile din variațiile de temperatură sînt mai reduse.

La structuri de pereți în 3 straturi, în cazul cînd izolația termică este dispusă la interior, fig.74.a, diferența de temperatură $\Delta t = t_1 - t_2$ pe grosimea izolației este maximă în raport cu căderile de temperatură pe grosimile straturilor de beton.Stratul interior de beton este mai cald iar structura de perete este judicioasă la încălzire discontinuă.In cazul izolației termice cu dispoziția spre exterior, fig.74.b, diferența de temperatură în stratul portant este minimă, fiind determinată cu relația

$\Delta t = \tau_i - t_1$, stratul de masă mare este mai cald iar structura în general este judicioasă la sistem de încălzire continuu.

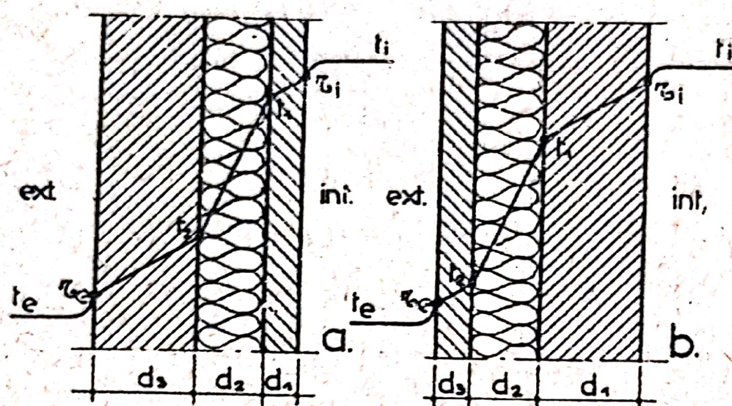


Fig.74.Influența poziției izolăției termice la pereți în 3 straturi.a) izolația spre interior ; b) izolația spre exterior.

Dacă se utilizează structura cu izolație dublă,fig.75, exterioară și interioară se compensează avantajele și dezavantajele izolației exterioare și interioare.Pentru a reduce deformațiile părții centrale a peretelui din beton, sub efectul variațiilor de temperatură, coeficientul de izolație termică a stratului izolant exterior trebuie să corespundă unei valori minimale.

Adoptarea structurii simetrice de beton, cu izolație la interior, fig.76, conduce la divizarea părții portante a elementului în 2 părți separate.

Sub acțiunea sarcinilor din planșee și grinzi, partea interioară este supusă la deformații din încovoiere, mai mari față de partea exterioară, care va fi supusă la variații de temperatură și la mișcări de mare amplitudine.Izolația termică prezintă interes numai deplasat spre exterior astfel ca stratul interior să devină integral portant.

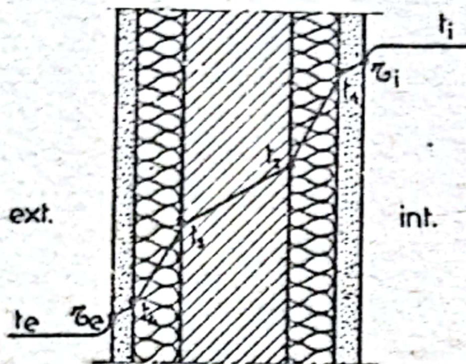


Fig.75.Curba temperaturilor la perete cu izolație dublă la interior și exterior.

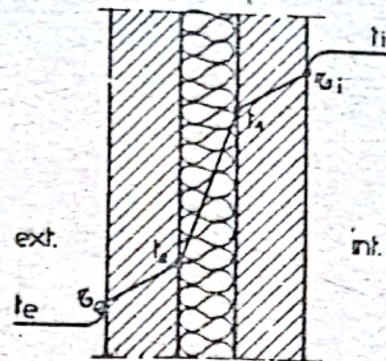


Fig.76.Curba temperaturilor la perete simetric,cu izolație la mijloc.

Utilizarea de îmbrăcăminți exterioare, în piatră artificială sau naturală, ardezie, fibrociment, oțel,sticlă sau aluminiu, conduce la realizarea unui perete dublu,fig.77, ce implică în mod necesar o ventilație eficace în spatele îmbrăcămintii.Ventilația intermediară asigură tot odată uscarea peretelui și evaporarea umidității rezultînd din precipitațiile atmosferice.

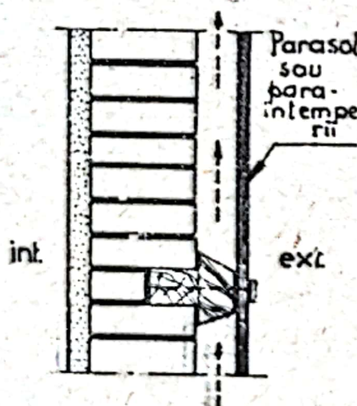


Fig.77.Perete cu strat de aer exterior ventilat.

Stratul exterior servește ca parasol și protecție contra intemperiilor pentru restul peretelui dinspre interior.

1.3. Influența poziției straturilor de izolație termică, în condiții de regim variabil.

Sînt de analizat două soluții de principiu, cu izolație termică la interior și respectiv la exterior.

In cazul structurii de perete cu izolația termică la interior,fig.78, în regim variabil,ca și în condițiile încălzirii discontinui, adoptarea soluției optime este

influențată de durata de utilizare a încăperilor pe perioada de 24 ore.

La utilizarea de durată mică este indicată structura de pereți cu izolantul termic la interior, deoarece capacitatea de acumulare termică a acestui strat este mică și deci este valabilă inegalitatea:

$$A_1=\lambda_1 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot d_1 \cdot \Delta t_1 < \lambda_2 \cdot C_2 \cdot \rho_2 \cdot d_2 \cdot \Delta t_2 \qquad (222)$$

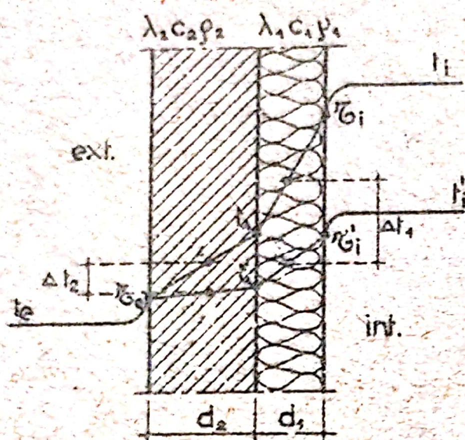


Fig.78. Capacitatea de acumulare termică a peretelui cu stratul termoizolant la interior.

Durata necesară încălzirii stratului termoizolant fiind redusă, ridicarea temperaturii aerului interior este rapidă.

La încălzire continuă, în cazul structurilor de pereți din mai multe straturi este indicată soluția cu stratul de mare acumulare la interior, fig.79 deoarece în acest caz este verificată inegalitatea:

$$A_1=\lambda_1 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot d_1 \cdot \Delta t_1 > \lambda_2 \cdot \rho_2 \cdot C_2 \cdot d_2 \cdot d_2 \cdot \Delta t_2 \qquad (223)$$

Cantitatea de căldură acumulată de stratul interior este în acest caz mai mare și face ca oscilațiile temperaturii aerului exterior să nu conducă la căderi de temperatură ale aerului interior care să afecteze confortul, având în vedere efectul de volant termic al stratului interior cu mare capacitate de acumulare termică.

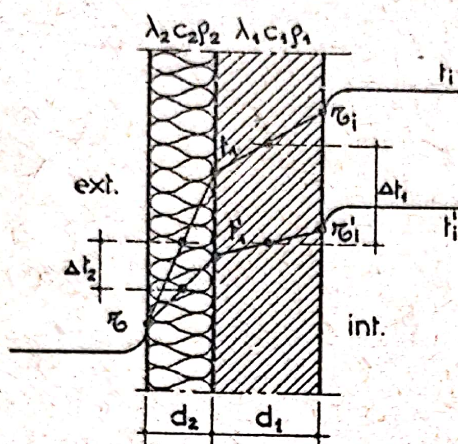


Fig.79.Capacitatea de acumulare termică a peretelui cu stratul termoizolant la interior.

Structurile de pereți din panouri mari prefabricate ca și pereții din beton armat, adoptate în Republica Socialistă România, constau în principiu dintr-un strat, de masă mare la interior, de 10...14 cm grosime din beton greu(fig.80), strat exterior de protecție a termoizolației din beton greu de 4...6 cm și strat intermediar termoizolator din materiale organice cu grosimea d_{iz} = 4...6 cm, în cazul izolației din polistiren expandat, d_{iz} = 6...8 cm la vată minerală și d_{iz} = 10...14 cm la materiale de izolație din beton celular, beton de zgură expandată, beton de argilă expandată, prezentînd o alcătuire judicioasă din punct de vedere al comportării în regim variabil.

1.4.Rezistența termică a pereților la colțuri.

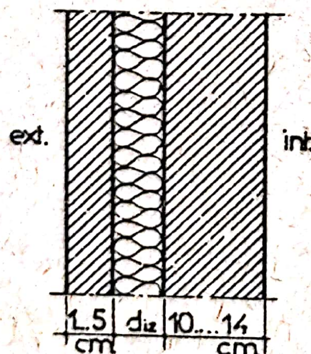


Fig.8o.Structură de perete în trei straturi utilizată în R.S.R. 1- Strat inte-

La colțurile pereților intervin fenomene specifice privind transmisia termică.Datorită suprafeței exterioare mărite a colțurilor de pereți are loc o creștere a transmisiei căldurii prin conducție pe două direcții,fig.81.Micșorarea curenților de aer determină micșorarea transmisiei căldurii prin convecție exterioară. Ca rezultat al acestor fenomene,ce se suprapun,are loc la col-

rior de beton armat;
2- strat izolant;
3- strat exterior de
beton armat.

ţuri micşorarea temperaturii pereţilor, condens şi mucegai. A.P.Weber propune determinarea temperaturii minime de colţ cu ajutorul unei relaţii bazată pe suprapunerea transmisiei termice liniare după cele două direcţii perpendiculare pe pereţii colţului, avînd forma:

$$\tau_c = t_i - 1{,}42\ \frac{R_{ic}}{R_{oc}}\ \Delta t \geqslant \tau_r \qquad (224)$$

în care:

- τ_c , temperatura în zona de colţ, în ^oC ;
- R_{ic}, rezistenţa la schimb superficial de căldură în zona colţului în $m^2.h.^oC/Kcal$, egală cu 0,200 $m^2.h.^oC/Kcal$, la colţuri verticale, între pereţi, fig.82.a. şi 0,250 $m^2.h.^oC/Kcal$ la muchii orizontale. fig.82.b. , reprezentînd intersecţii între pereţi şi terase.

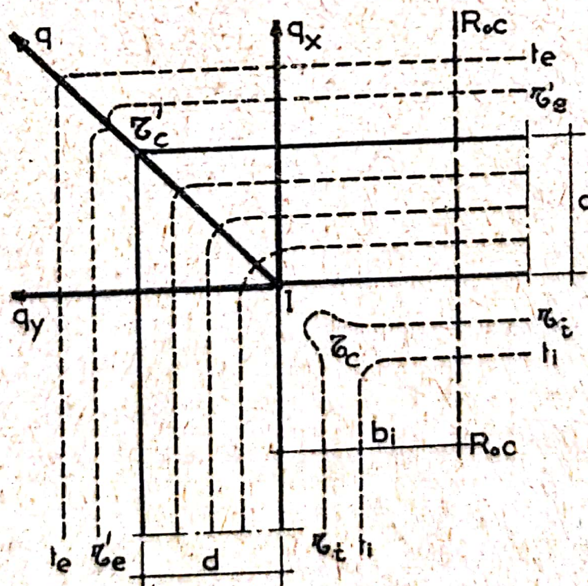


Fig.81.Transmisia plană a căldurii la colţul pereţilor omogeni.

- R_{oc} , rezistenţa termică în cîmpul peretelui în $m^2 \cdot h \cdot {}^oC$.

Condiţia pentru evitarea condensului se poate pune sub forma (fig.83):

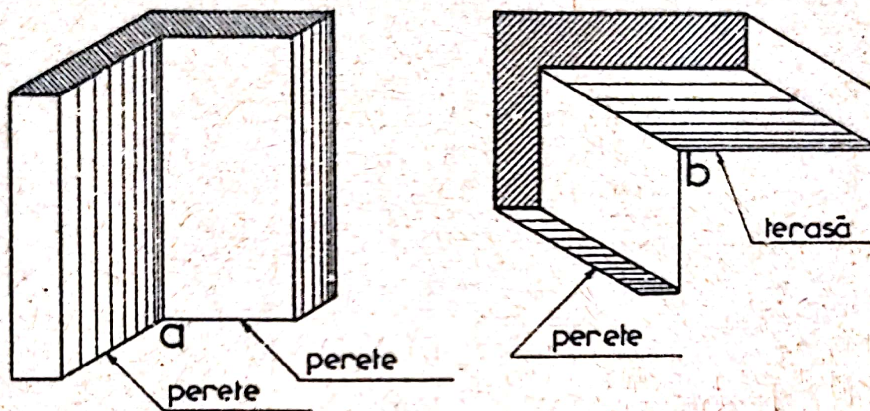


Fig.82.Transmisia căldurii la colţuri verticale (a) şi la muchii orizontale(b).

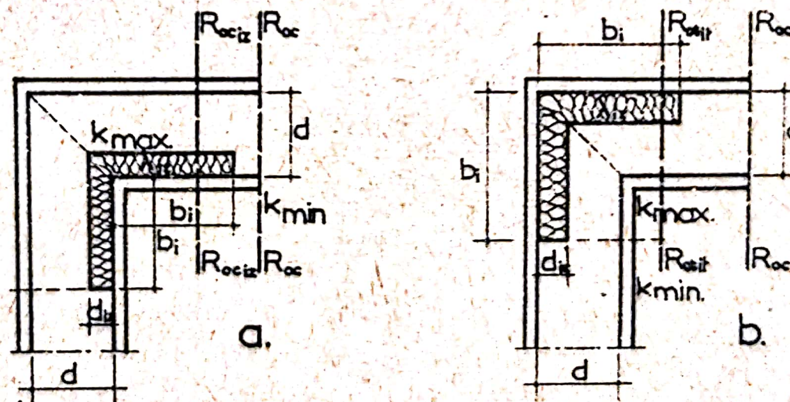


Fig.83.Dispoziţia izolaţiei suplimentare la colţuri:

a) la umidităţi normale

b) la umidităţi mari

$$\Delta\tau_c \leq 1{,}42\ \frac{R_{ic}}{R_{oc_{iz}}}\ \Delta t \qquad (225)$$

în care $R_{oc_{iz}}$ este rezistența termică necesară considerînd izolația termică suplimentară în $m^2.h.^oC/Kcal$.

Căderea de temperatură în zona colțului, fără izolație termică este dată de relația:

$$\Delta\tau_i = 1{,}42\ \frac{R_i}{R_{oc}}\ \Delta t \qquad (226)$$

Impărțind relațiile (225) și (226) se obține :

$$\frac{\Delta\tau_i}{\Delta\tau_e} = \frac{R_{oc_{iz}}}{R_{oc}} = \frac{R_{oc} + R_{iz}}{R_{oc}} \qquad (227)$$

Din expresia (227) se obține valoarea lui R_{iz}

$$R_{iz} = R_{oc}\left[\frac{\Delta\tau_i}{\Delta\tau_e} - 1\right] = R_{oc}\left[\frac{\Delta\tau_i - \Delta\tau_c}{\Delta\tau_c}\right] \qquad (228)$$

Valoarea grosimii necesare a izolației termice, pe m.l. de colț rezultă:

$$d_{iz} = \lambda_{iz} \cdot R_{oc} \cdot \frac{\Delta\tau_i - \Delta\tau_c}{\Delta\tau_c} \qquad (229)$$

Pe lățimea de influență b_i a punții de colț rezultă:

$$d_{iz} = b_i \cdot \lambda_{iz} \cdot R_{oc}\ \frac{\Delta\tau_i - \Delta\tau_c}{\Delta\tau_c} \qquad (230)$$

Pentru un perete foarte bun este necesar ca $K \leq 0{,}8$ Kcal/ $m^2.h.^oC$ și $\varsigma_m \leq 2$.

Determinările privind transmisia termică la colțuri prin analogie electrică (10), arată că la pereți omogeni are loc o creștere a coeficientului de transmisie termică cu 20%, iar la pereți neomogeni de pînă la 40%. Pentru evitarea condensului și asigurarea confortului la colțuri, folosindu-se metoda cîmpurilor

se propune o izolare suplimentară, ce se poate calcula considerînd ecuația:

$$R_{iz} + R_{med} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_{i\,max}} \cdot \frac{1}{\alpha_{ic}} \qquad (231)$$

de unde:

$$d_{iz} = \lambda_{iz} \left[-\frac{1}{K_{med}} + \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_{i\,max}} \cdot \frac{1}{\alpha_{i\,colt}} \right] \qquad (232)$$

în care:

- d_{iz}, grosimea izolației suplimentare, în m ;
- λ_{iz}, coeficientul de conductivitate termică al materialului de izolație, în Kcal/m.h.°C ;
- t_i , t_e , temperaturile aerului interior și exterior, în °C ;
- K_{med} , coeficientul mediu de transmisie termică determinat prin metoda cîmpurilor prin diferențe finite sau analogie electrică în Kcal/m².h.°C ;
- $\tau_{i\,max}$ temperatura maximă a suprafeței interioare a colțului, în °C ;
- $\alpha_{i\,colț}$, coeficientul de schimb superficial interior, cu valoarea medie 5 Kcal/m².h.°C ;

Izolarea suplimentară se dispune la interior sau exterior, în funcție de condițiile de umiditate (fig.83).

La pereți omogeni, izolația termică suplimentară la colțuri se poate calcula cu ajutorul nomogramei din fig.84. Pentru colțul peretelui de 37,5 cm grosime, cîmpul termic corespunzător zonei a II-a climatice este prezentat în fig.85.

1.5. Caracteristicile pereților cu punți termice.

La structurile de pereți cu punți, cercetările efectuate de J.Berthier în Franța ca și cercetările din țara noastră arată că influența punții termice descrește cu raportul $\frac{a}{d}$

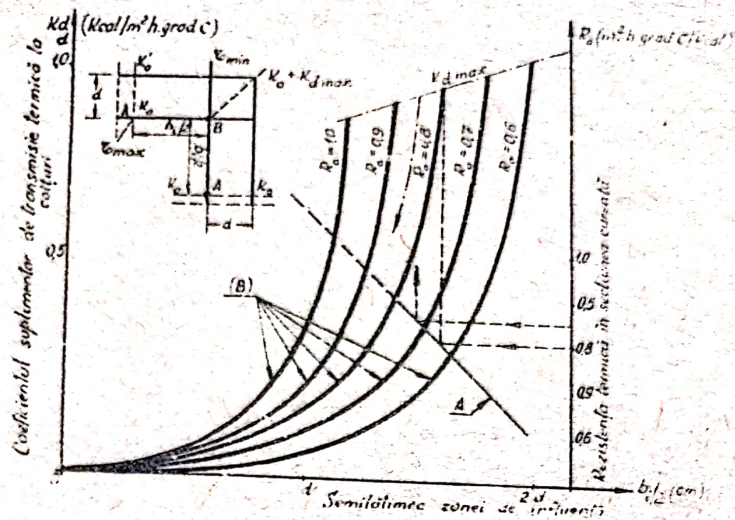


Fig.84. Rezistenţa termică suplimentară la colţuri de pereţi omogeni

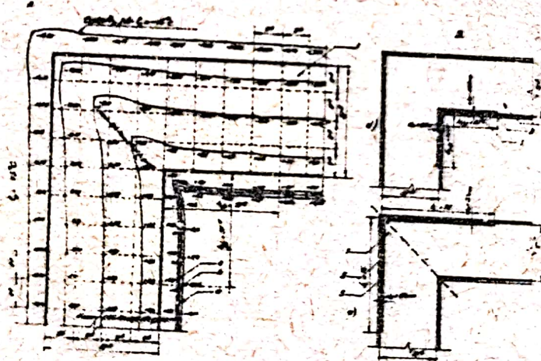


Fig.85 . Cîmpul termic în zona de colţ a peretelui de 37,5 cm grosime

(fig.86), în care "a" lăţimea punţii termice şi "d" grosimea peretelui.Reducerea grosimii punţii termice pînă la 3 cm, tehnologia necesară, determină îmbunătăţirea comportării termice a peretelui, în special dacă grosimea punţii scade sub 30% din grosimea peretelui.Inlocuirea materialului termoizolator cu un material de eficienţă mai mare are o influenţă redusă, aşa după cum

puntea termică îşi micşorează influenţa dacă materialul din care se realizează are caracteristici termofizice apropiate de ale materialului de bază a pereţilor.

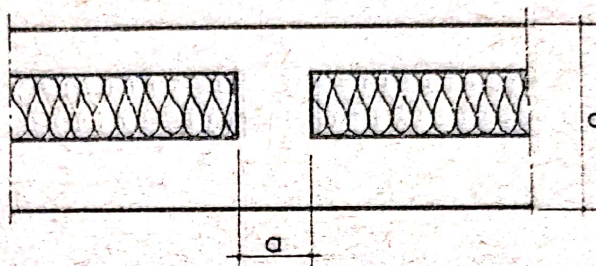


Fig.86. Caracteristica geometrică a punţii termice, raportul $\frac{a}{d}$

Efectul de punte termică este mai redus la structura de perete cu stratul de masă mare la interior (fig.87)-a , în comparaţie cu structura şi stratul de masă mare la exterior (fig. 87-b).

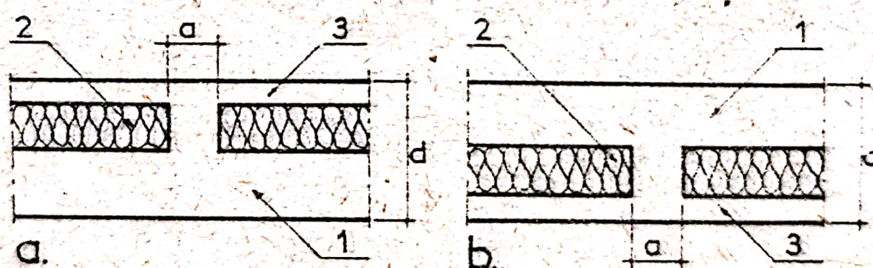


Fig.87.Poziţia stratului termoizolant în funcţie de efectul punţii termice: a - soluţie judicioasă ; b- soluţie cu eficienţă termică redusă ; 1 - strat de masă mare ; 2- strat termoizolant ; 3 - strat de protecţie.

Stratul de masă mare dispus la interior are rolul de egalizator al temperaturii şi de acumulare a căldurii, determi-

nînd o comportare termică mai bună prin distribuţia mai echilibrată a fluxului termic.

La punţi parţiale, comportarea termică este bună în cazul cînd elementele bune conducătoare de căldură sînt la exterior (fig.88)-a), mai puţin eficiente la interior (fig.88-b) şi cu eficienţă termică redusă dacă materialele bune conducătoare de căldură sînt în masa elementului termoizolator (fig.88)-c.

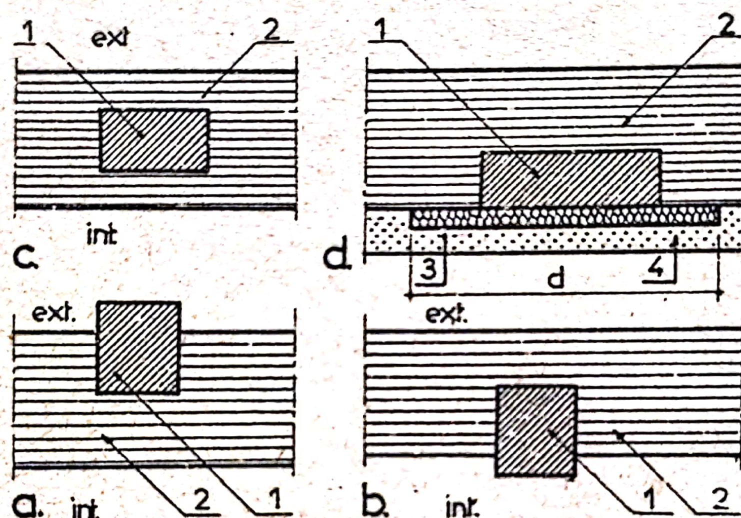


Fig.88.Punte termică parţială: 1- beton armat; 2- zidărie.a) soluţie nejudicioasă; b) soluţie bună ; c) soluţie cu eficienţă termică redusă ; d) micşorarea efectului negativ al punţilor parţiale: 1- strat de beton armat; 2 - zidărie; 3 - termoizolaţie interioară; 4 - tencuială.

Micşorarea efectului negativ al punţii termice parţiale se poate obţine printr-un strat de izolaţie termică interioară, a cărui acţiune creşte cu lungimea (fig.88-d).La ramificaţii de pereţi, comportarea optimă, din punct de vedere termic, o prezintă structura cu perete ieşind şi cu dală de repartiţie (fig.89-c) în comparaţie cu celelalte structuri cu punte totală şi parţială.

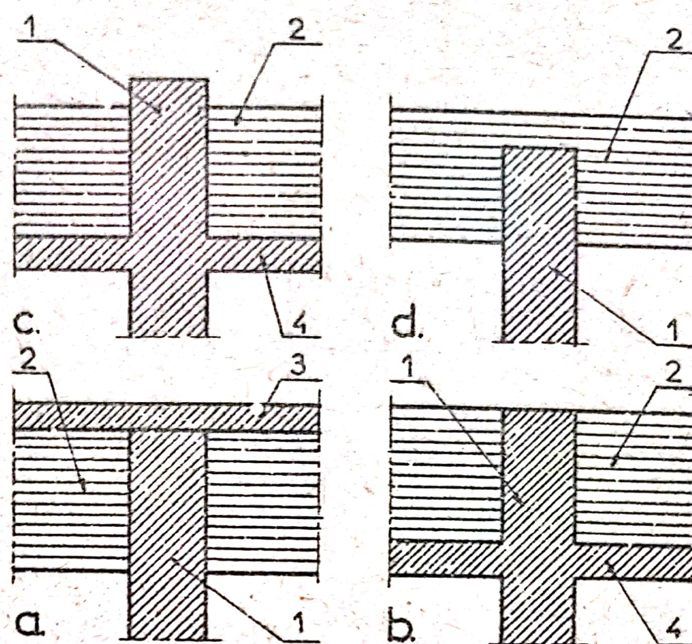


Fig.89.Ramificaţii de pereţi cu punţi: a)puntea totală; b) punte cu dală interioară de repartiţie ; c) punte cu dală de repartiţie şi perete transversal ieşind ; d) punte termică parţială. 1- perete de beton; 2- zidărie ; 3 - dală exterioară; 4- dală interioară.

1.6. Temperatura şi rezistenţa termică minimă a pereţilor cu punţi.

Stabilirea temperaturii minime şi a rezistenţei termice a pereţilor cu punţi a făcut obiectul a numeroase cercetări în Franţa, U.R.S.S., R.S.România.

In vederea aprecierii caracteristicilor de temperatură ale structurilor de pereţi cu punţi, referitor la suprafaţa interioară a elementelor de construcţie, fig.90, se introduce factorul de temperatură a suprafeţei interioare, definit de raportul:

$$\alpha = \frac{\tau_{imin} - t_i}{t_i - t_e} \qquad (233)$$

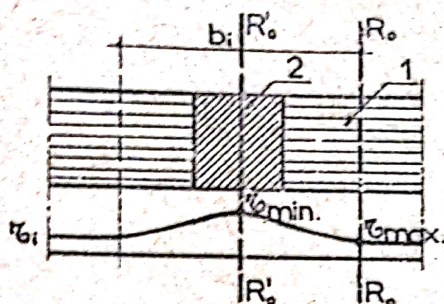


Fig.90. Rezistenţa termică minimă în zona punţilor.

La diferenţe mici între τ_{imin} şi t_i, suprafaţa peretelui prezintă omogenitate termică maximă. Omogenitatea temperaturii suprafeţei interioare a peretelui exterior poate fi analizată luînd în considerare expresia:

$$\varrho_m = \frac{\tau_{imax} - t_i}{\tau_{imin} - t_i} = \frac{R_o}{R_{omin}} \quad (234)$$

ϱ_m, denumit factor de heterogeneitate al temperaturii suprafeţei interioare prezintă valoarea minimă 1, în cazul unei omogenităţi maxime şi valori mai mari ca 1 pentru heterogenitate oarecare. Analizînd diferite tipuri de punţi termice, fig.91 (1), se constată că valoarea factorului ϱ_m scade cu lăţimea „a" a punţii termice. La structuri cu zone de mare permeabilitate termică la exterior, cu comportare corespunzătoare termică, factorul ϱ_m prezintă valori maxime pentru lăţimi mari ale stîlpilor exteriori.

La elemente cu zone de mare permeabilitate termică la interior se constată valori mari ale factorului ϱ_m ce evidenţiază heterogeneitatea termică mărită a structurii de perete. Structura de perete în 2 straturi, cu placă de repartiţie din beton la interior, prezintă omogenitate termică mărită şi deci valori minime ale factorului ϱ_m. La punţi parţiale valorile factorului ϱ_m cresc cu adîncimea punţii în structura peretelui, valorile maxime corespunzînd punţii totale. Factorul ϱ_m pentru structura de panou în 3 straturi, cu placă groasă la interior, utilizată în R.S.România, prezintă valoarea 1,8 mai favorabilă faţă de valoarea 3,2 în cazul cînd structura panoului de perete exterior este cu placa groasă la exterior.

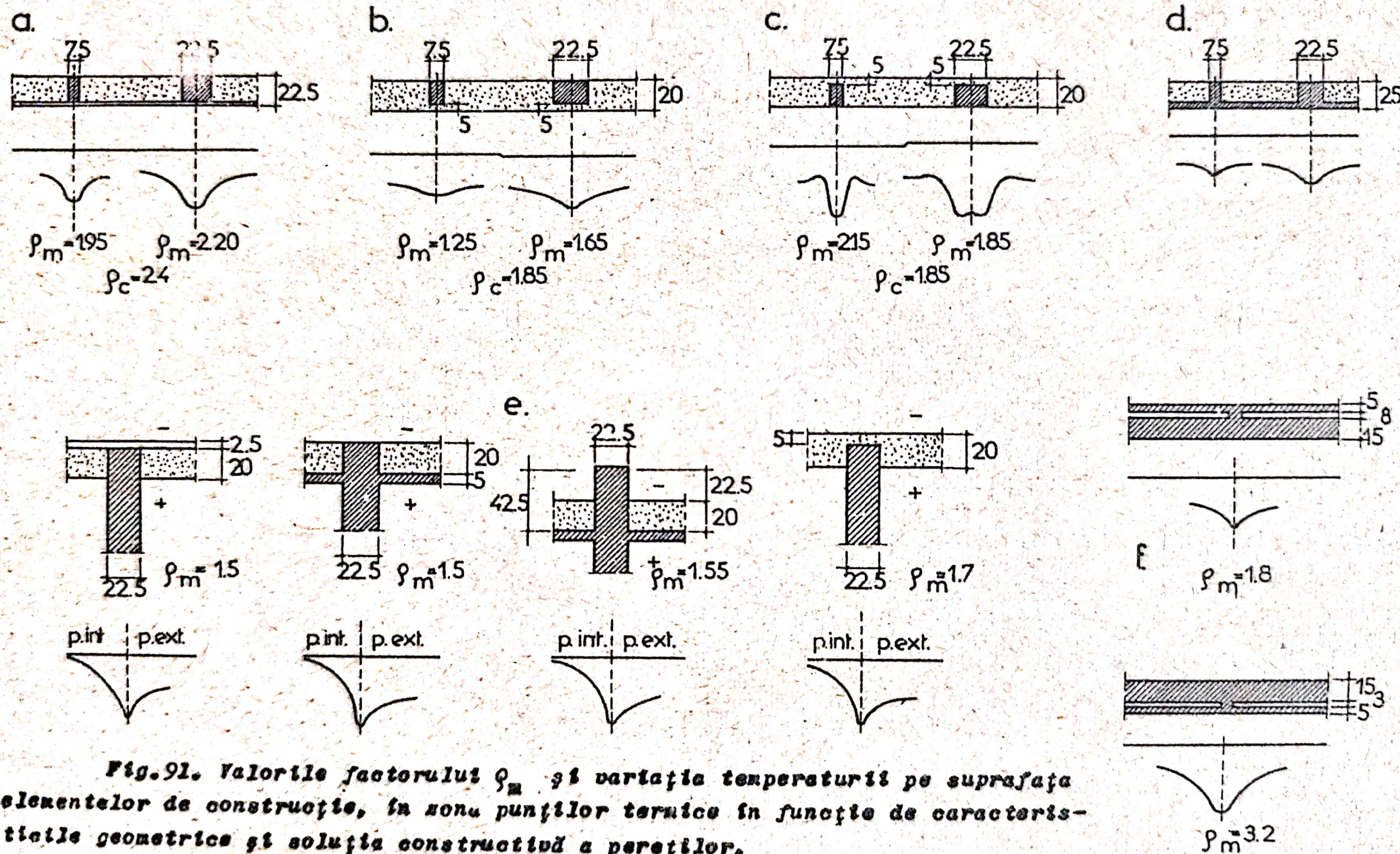


Fig.91. Valorile factorului ρ_m şi variaţia temperaturii pe suprafaţa elementelor de construcţie, în zona punţilor termice în funcţie de caracteristicile geometrice şi soluţia constructivă a pereţilor.

Pentru o comportare corespunzătoare a structurilor de pereţi cu punţi termice se recomandă $\rho_m < 2$ în zona I-a şi $\rho_m < 1,5$ în zonele II-a şi III-a.

Diferenţa maximă de temperatură între interior şi temperatura minimă τ_{imin}, în zona punţii termice, se poate calcula cu relaţia:

$$t_i - \tau_{imin} = \Delta\tau_{imax} = \frac{R_i}{R_o}\rho_m \cdot \Delta t \leq \Delta\tau_{r_{adm}} \quad (235)$$

în care:

$\Delta\tau_{r_{adm}}$, diferenţa de temperatură, între aerul interior şi suprafaţa interioară a elementului exterior de construcţie, admisibilă din punct de vedere al evitării condensului, în °C.

In STAS - 6472/68 şi normativul CAER privind termotehnica în construcţii, pentru calculul rezistenţei minime şi a temperaturii minime în zona punţilor termice, fig.90, se recomandă relaţiile :

$$R_{omin} = \frac{R_o \cdot R'_o}{R'_o + \eta_p (R_o - R'_o)} \quad (236)$$

$$\tau_{imin} = t_i - (t_i - t_e) \cdot R_i \frac{R_o + \eta_p (R_o - R'_o)}{R_o - R'_o} \geq \tau_r \quad (237)$$

în care:

- R_o, Rezistenţa la transmisia căldurii în secţiunea neinfluenţată de puntea termică, în m².h.°C/Kcal ;

- R'_o, rezistenţa la transmisia căldurii în zona punţii, în m².h.°C/Kcal ;

- η_p, coeficient de corecţie în funcţie de tipul punţii, (fig.92) şi raportul $\frac{a}{d}$, conform graficelor din fig.93.

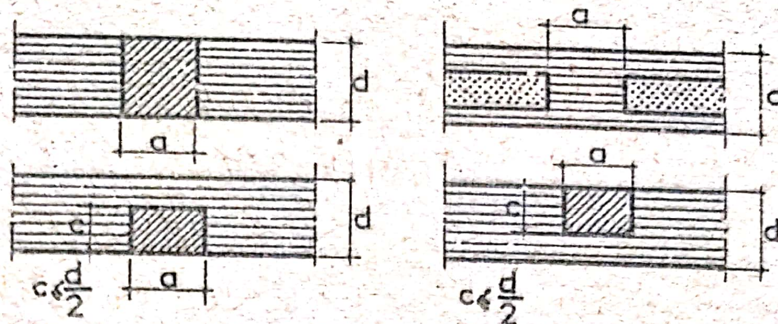


Fig.92. Tipuri de punţi la pereţi.

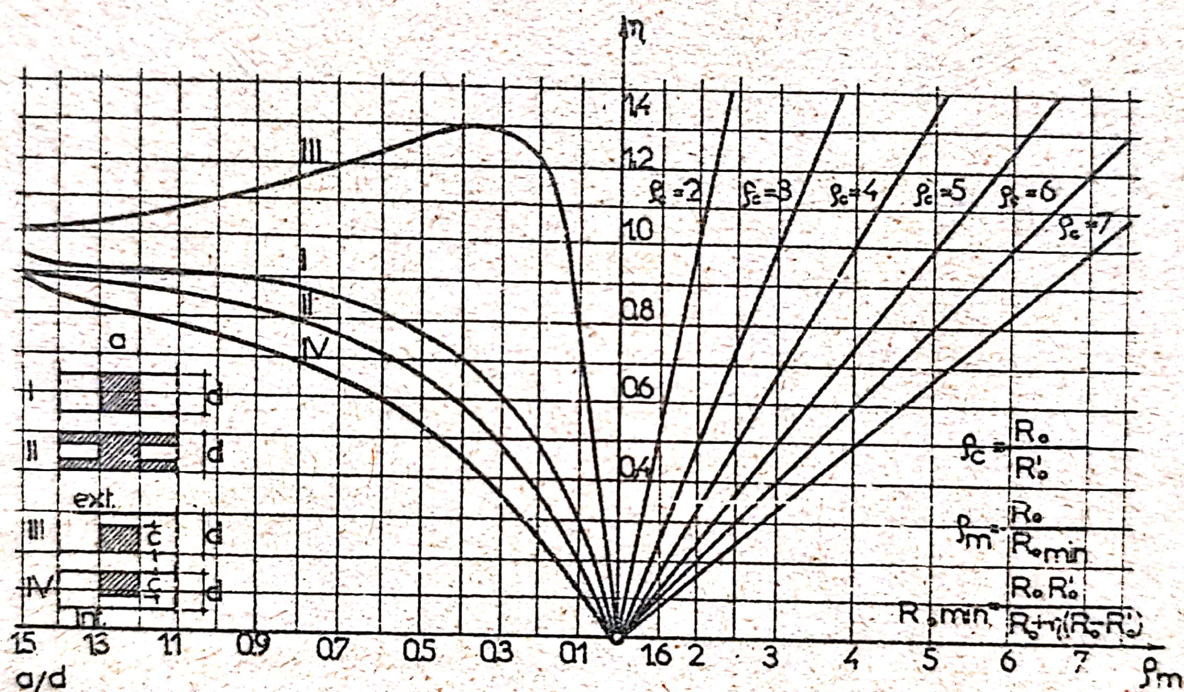


Fig.93.Valorile coeficientului η_p în funcţie de tipul punţii şi raportul $\frac{a}{d}$

- τ_r , temperatura de rouă conform condiţiilor de microclimat interior, în °C.

Folosindu-se calculul cu diferenţe finite sau analogia electrică se determină cîmpul termic în zona punţilor(fig.94),la ferestre, ramificaţii (fig.95), planşee (fig.96), stabilindu-se

Fig.94. Cîmpul termic în zona unei punţi la un perete de beton armat.

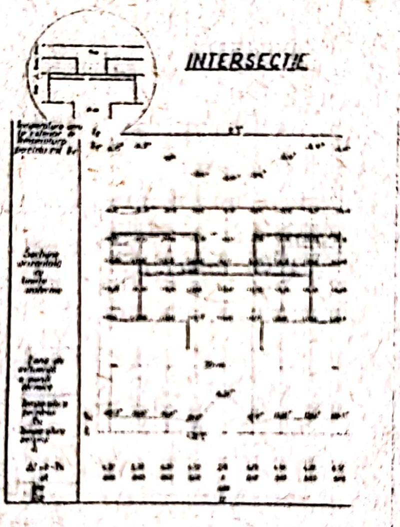


Fig.95. Cîmpul termic la o intersecţie.

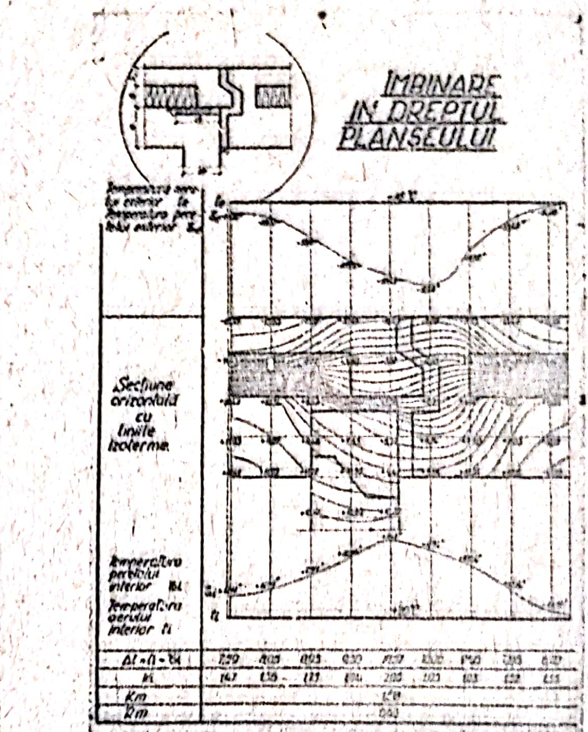


Fig.96. Cîmpul termic în zona îmbinării în dreptul planşeului.

temperatura minimă, lăţimea de influenţă „b_i" a punţilor (10) şi pe această bază rezistenţa minimă a pereţilor cu punţi (fig.97).

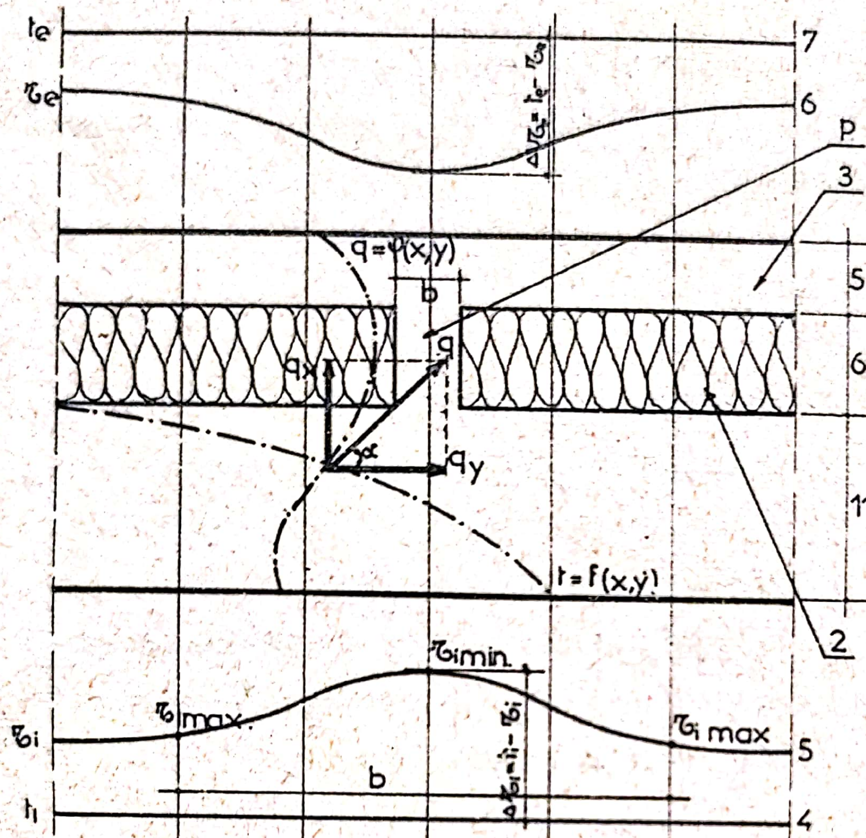


Fig.97. Calculul rezistenţei minime în zona punţii termice: 1- strat interior de beton armat; 2-izolaţie termică; 3- strat exterior de beton armat; 4,5,6,7- temperatura aerului interior, suprafeţelor interioară şi exterioară şi a aerului exterior.

$$R_{omin(1-1)} = \frac{1}{K_{max(1-1)}} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_{imin(1-1)}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \qquad (238)$$

In baza studiilor efectuate în laboratorul de clădiri al Institutului Politehnic Iaşi, s-a propus o variaţie liniară a coeficientului de transmisie termică în zona punţii, de la $\tau_{i\,max}$ la $\tau_{i\,min}$. Considerîndu-se temperatura medie:

$$\tau_{imed} = \frac{\tau_{imax} + \tau_{imin}}{2} \qquad (239)$$

se poate determina coeficientul de transmisie termică pe baza expresiei:

$$\frac{1}{K_{omed}} = R_{omed} = \frac{(t_i - \tau_{emed})\,\alpha_i}{t_i - t_e} \qquad (240)$$

1.7. Creşterea temperaturii în încăperi datorită radiaţiei solare.

Considerînd că temperatura exterioară t_e este zero, ecuaţia de bilanţ termic între încăpere şi exterior este:

$$\sum A_f \cdot S \cdot R + \sum A_p \frac{\alpha R}{\alpha_e} R = K_v \cdot V \cdot t_i + \sum_1^n S_i \cdot \varphi_i \qquad (241)$$

Considerînd că raportul de căldură transmis prin pereţi este unic şi luînd în considerare numai influenţa ferestrelor, relaţia (241) devine:

$$\sum A_f \cdot S \cdot R = K_v \cdot V \cdot t_i + \sum_1^n S_i \cdot \varphi_i \qquad (242)$$

Radiaţia solară, fenomen ondulatoriu poate fi descompus într-un termen constant, egal cu media zilnică a radiaţei solare R_{med} şi a unei serii de termeni sinusoidali, de amplitudine A_R şi de perioade descrescătoare: 24, 12, 6 ore.

In cazul fenomenului termic datorat termenului de radiaţie constantă, considerînd $t_e = 0$ şi temperaturile pereţilor interiori constante, ecuaţia se scrie astfel:

$$A_f \cdot S \cdot R_{med} = K_v \cdot V \cdot A_{t_i} \qquad (243)$$

de unde:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S \cdot R_{med}}{K_v \cdot V} \qquad (244)$$

Considerînd fenomenele datorate termenilor sinusoidali, pentru fiecare din fenomenele periodice rezultă:

$$A_f \cdot S \cdot A_R = K_v \cdot V \cdot A_{t_i} + \sum_1^n S_i \cdot \omega_i \cdot A_{t_i} \qquad (245)$$

Din această ecuaţie rezultă:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S \cdot A_R}{K_v \cdot V} \left[\frac{1}{\frac{\sum_1^n S_i \omega_i}{K_v \cdot V}} \right] \qquad (246)$$

Considerînd fenomenul global, rezultă amplitudinea A_{t_i} a temperaturii aerului interior în funcție și de capacitatea de amortizare interioară:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S}{K_v \cdot V}\left[R_{med} + \sum \frac{A_R}{\frac{\sum S_i \omega_i}{K_v \cdot V}}\right] \quad (247)$$

1.8. Stabilitatea termică a încăperilor în condiții de iarnă.

Comportarea termică în regim variabil poate fi analizată în condiții de iarnă și de vară. In condiții de iarnă comportarea termică, în regim variabil (23) a unei încăperi poate fi apreciată prin calculul amplitudinii oscilației temperaturii aerului interior, A_{t_i}, pe baza relației:

$$A_{t_i} = \frac{0.7\, MQ}{B \cdot A} \quad (248)$$

în care:

- M, coeficientul de neuniformitate al cedării căldurii de către instalația de încălzire, având valori între o,4 și 2,2, funcție de sistemul și regimul de încălzire;
- Q, cantitate de căldură pierdută din încăpere în timp de o oră, în Kcal/h ;
- A, suprafața elementului de construcție care delimitează încăperea, în m^2 ;
- B, coeficient de acumulare termică a suprafețelor interioare ale elementelor de construcție care delimitează încăperea, în Kcal/m^2.h.^oC și calculat cu expresia:

$$B = \frac{1}{R_i + \frac{1}{U_i}} \quad (249)$$

în care U_i este coeficientul de asimilare termică a suprafeței interioare a elementului de construcție, în $Kcal/m^2.h.^oC$.

Pentru uşi şi ferestre valoarea coeficientului B se poate calcula cu relația:

$$B = \frac{K_f}{1,08} \qquad (250)$$

K_f , fiind coeficientul de transmisie a căldurii la uşi şi ferestre.

Termenul U_i din relația (249) prezintă valoarea $U_i = S_1$ dacă $D_1 > 1$ şi $U_i = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2}$, dacă $D_1 < 1$ şi $D_1 + D_2 \geqslant 1$

1.9. Stabilitatea termică a elementelor exterioare de construcții în condiții de iarnă.

Verificarea stabilității termice a elementelor exterioare de construcție implică calculul coeficientului ψ , pe baza relației:

$$\psi = \frac{R_o}{R_i + \frac{M}{U_i}} \qquad (251)$$

în care intervin termeni cu semnificații cunoscute. Valorile admisibile pentru ψ , în condițiile de climat din țara noastră, sînt 3,7 pentru zona I-a, 4,0 pentru zona II-a şi 4,8 pentru zona III-a.

1.10. Stabilitatea termică a clădirilor în condiții de vară.

Sub influența radiației solare, amplitudinea temperaturii echivalente a aerului exterior, luînd în considerare şi influența însoririi, se calculează cu expresia:

$$A_{t_{e\,echiv.}} = \left(A_{t_e} + \alpha\,\frac{R_{max} - R}{\alpha_e}\right)\cdot \xi \qquad (252)$$

în care:

$$A_{t_{e\,echiv.}} = t_{e\,max} - t_e \;;\; t_{e\,echiv.} = t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} \qquad (253)$$

- α, coeficientul de absorbţie a radiaţiei solare de către materialele de construcţie, cu valori între 0,35..0,88 ;
- R_{max}, intensitatea maximă a radiaţiei solare în 24 ore, în Kcal/m².h ;
- R, intensitatea medie a radiaţiei solare în 24 ore ;
- α_e = 10 Kcal/m².h.°C ;
- ξ factor de corecţie în funcţie de nesimultaneităţile maximilor temperaturii aerului exterior şi a radiaţiei solare cu valori între 0,26... 1,0.În literatura germană, în funcţie de orientarea suprafeţelor exterioare, variaţia acestui coeficient este dată între 0,5 şi 1,0.

Cunoscînd valoarea $A_{t_{e\,echiv}}$ se poate calcula încărcarea termică maximă asupra unui element de construcţie supus radiaţiei solare, cu ajutorul expresiei:

$$q_{s\,max} = \frac{t_{e\,echiv} - t_i}{R_o} + \frac{A_{t_{e\,echiv}}}{\nu}\cdot\alpha_i \qquad (254)$$

în care ν, coeficientul de amortizare termică a elementului de construcţie.

1.11. Temperatura încăperilor în condiţii de vară, cu considerarea amortizării datorită pereţilor interiori.

Ecuaţiile de bilanţ termic sînt liniare în temperatură şi radiaţie solară, astfel încît temperatura într-o încăpere este suma:

- temperaturii curente, în absența radiației solare și a aportului elementelor interioare de construcție;

- suplimentului de temperatură datorită radiației solare;

- suplimentului de temperatură datorită aportului elementelor interioare de construcție.

In condiții de vară, neexistînd altă sursă de energie, temperaturile medii, exterioare și interioare sînt egale. Amplitudinile de variație ale temperaturilor exterioare și interioare sînt diferite în funcție de inerția construcției.

Schimburile termice între exteriorul și interiorul unei încăperi au loc prin transmisia pereților și ventilația aerului, pe baza expresiei:

$$K_v V.(t_e - t_i) \tag{255}$$

Fluxul termic absorbit sau cedat de pereții interiori este egal cu suma produselor suprafeței fiecărui perete S_i prin fluxul unitar absorbit sau cedat de acesta φ_i. Ecuația de echilibru este deci:

$$K_v . V. (t_e - t_i) = \sum_1^n S_i \cdot \varphi_i \tag{256}$$

Diferența maximelor temperaturilor t_e și t_i este egală cu diferența amplitudinilor de variație a temperaturilor deoarece valorile lor medii sînt egale. Maximul fluxului este egal cu amplitudinea sa deoarece valoarea medie este nulă. Notînd prin A_{t_e}, A_i și ϕ_i amplitudinile de variație ale lui t_e, t_i și φ_i ecuația de mai sus se scrie:

$$K_v . V. (A_{t_e} - A_{t_i}) = \sum_1^n S_i \phi_i \tag{257}$$

Amplitudinea de variație a fluxului absorbit sau cedat de

un element interior de construcție este proporțională cu amplitudinea de variație a temperaturii aerului interior și un coeficient de inerție al peretelui, notat cu ω_i, ceea ce conduce la expresia:

$$K_v \cdot V \cdot \left(A_{t_e} - A_{t_i}\right) = \sum_1^n S_i \cdot \omega_i \cdot A_{t_i} \qquad (258)$$

Din relația (258) rezultă:

$$A_{t_i} = \frac{A_{t_e}}{1 + \frac{\sum_1^n S_i \cdot \omega_i}{K_v \cdot V}} \qquad (259)$$

Amplitudinea de variație a temperaturii aerului interior este deci inferioară amplitudinii temperaturii aerului exterior. Amortizarea este cu atît mai mare cu cît raportul $\frac{\sum S_i \cdot \omega_i}{K_v \cdot V}$ este mai mare și deci S_i și ω_i mai mari, iar coeficientul volumic K_v de transmisie a căldurii este mai mic. Valoarea coeficientului K_v depinde de intensitatea ventilației naturale a încăperii.

1.12. Influența umidității asupra pereților.

La alcătuirea pereților în mai multe straturi se vor avea în vedere și condițiile referitoare la umiditatea interioară de exploatare, umiditatea climatică a aerului exterior și evitarea condensului și a acumulării de umiditate în structura peretelui.

Comportarea pereților la acțiunea umidității.

Peretele ca element de construcție are una din funcțiunile principale de a proteja locuința contra umidității. Pereții tradiționali din zidărie, relativ groși, fig.98, sînt capabili de a absorbi și a reține o anumită cantitate de vapori de apă, astfel încît chiar în absența unei tencuieli exterioare, umiditatea rezultată din precipitațiile atmosferice nu traversa elementul de

construcţie.

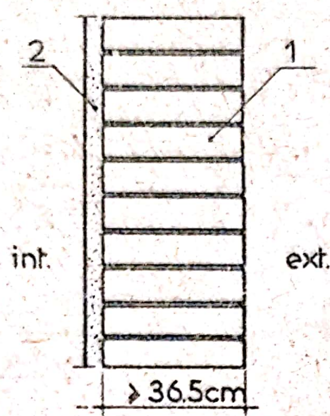


Fig.98.Perete din zidărie aparentă cu cărămizi plane.1-Perete;2-tencuială interioară.

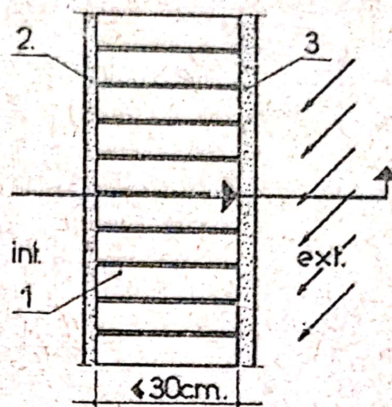


Fig.99.Perete de grosimea unei cărămizi găurite cu tencuială exterioară impermiabilă. 1-Perete;2-Tencuială interioară permiabilă;3-Tencuială exterioară impermiabilă.

Dacă se reduce grosimea peretelui exterior pînă la valoarea minimă, admisibilă din punct de vedere termic şi static, fig.99, şi luînd în considerare absorbţia mai mare a cărămizilor poroase care se utilizează astăzi sîntem obligaţi a proteja peretele contra intemperiilor cu ajutorul unei tencuieli exterioare impermiabile la apă, dar care nu trebuie totodată să împedice evacuarea vaporilor de apă ce se produc în interiorul clădirii.

Utilizarea cărămizilor extra-dure de parament, fig.100 poate constrtui un material etanş opunîndu-se la orice difuzie a vaporilor de apă şi putînd deci să influenţeze funcţia de respiraţie a zidăriei.

Pentru a remedia acest incovenient ar trebui teoretic să se dispună pe partea caldă dinspre interior a peretelui, un

strat care să frîneze trecerea vaporilor.

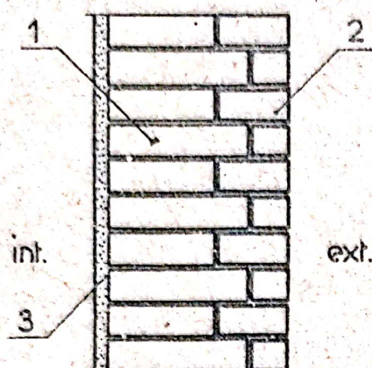


Fig.100.Perete din zidărie cu cărămizi extradure la exterior.
1-Zidărie obişnuită;
2-Zidărie cu cărămizi extradure la exterior;
3-Tencuială interioară.

In cazul structurilor de pereţi din beton monolit sau prefabricat, comportarea lor depinde de poziţia stratului termoizolant.In cazul structurii cu termoizolaţie la interior, fig.101, difuzia vaporilor de apă spre exterior este mai puţin bună deoarece betonul se opune în mai mare măsură la trecerea vaporilor de apă în comparaţie cu izolaţia termică, fiind posibilă acumularea lor în stratul s-s.

Structura de perete, cu izolaţie termică la exterior,fig.102, este nu numai cea mai bună soluţie din punct de vedere termic, dar prezintă în acelaşi măsură avantaje in ce priveşte difuzia vaporilor.

Din acest motiv se preconizează, în cazul pereţilor în mai multe straturi, cu izolaţie incorporată,de a plasa stratul izolant mai spre exteriorul peretelui.

La structuri de pereţi cu materiale etanşe la vapori de apă dispuse la exterior, cum sînt de exemplu sticla, fig.103, metalul, fibrocimentul, evacuarea excesului de umiditate se realizează prin ventilarea canalelor verticale de aer ce comunică la partea inferioară şi superioară cu mediul ambiant.

Structurile de pereţi uşori, alcătuiţi dintr-un strat termoizolant trebui a fi protejate contra apei de condensare.Soluţia cea mai simplă constă în dispunerea pe partea caldă a perete-

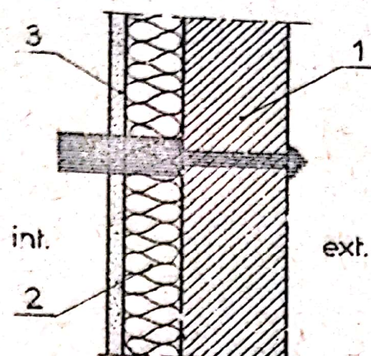


Fig.101.Perete de beton cu termoizolaţie la interior.1-Beton;2-Izolaţie termică;3-Tencuială interioară.

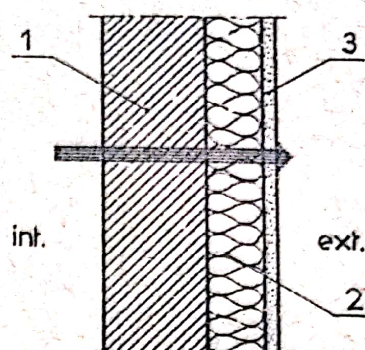


Fig.102.Perete de beton cu termoizolaţie la exterior. 1-Beton;2-Termoizolaţie;3-Tencuială exterioară.

lui a unui ecran para-vapori, fig.104.

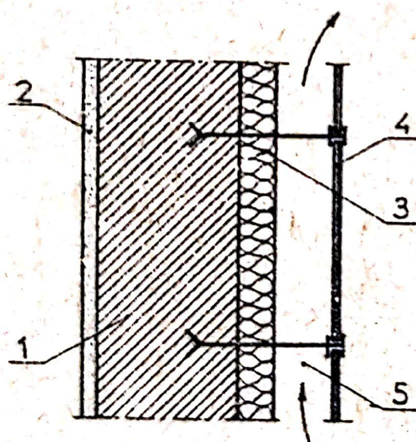


Fig.103.Perete de sticlă suspendată cu ventilaţie exterioară.1-Beton armat;2-2-Tencuială interioară;3-Ter6moizolaţie;4-Sticlă;5-Strat de aer ventilat.

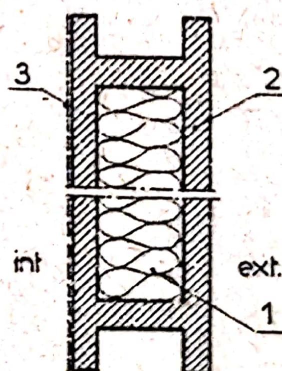


Fig.104.Perete uşor protejat cu carcasă de beton armat şi para-vapori la interior.1-Strat termoizolant; 2-Cărcasă portantă din beton armat;3-Para-vapori.

Neluarea în considerare a principiilor de bază privind comportarea termică şi la umiditate a pereţilor conduce la degradări, exfolieri, eflorescenţe, zone de mare umiditate, fenomene de coroziune la structurile cu metal şi la descompunerea straturilor de termoizolaţie, ceeace se poate evita prin proiectarea judicioasă a elementelor de construcţie, din punct de vedere higrotermic.

Umiditatea de echilibru a pereţilor exteriori în condiţii de exploatare normală este cuprinsă între 0,5 % ...4 % şi maxim 6 % în cazul pereţilor din beton celular autoclavizat.

1.13. Structura optimă a pereţilor exteriori din punct de vedere al evitării acumulării vaporilor de apă.

La structurile de pereţi în 3 straturi din panouri mari sau beton armat monolit sînt posibile în principiu 3 soluţii constructive:

a) structura cu termoizolaţie spre interior, fig.105;
b) structura cu termoizolaţie spre exterior, fig.106;
c) structura simetrică cu termoizolaţia la mijloc, fig.107.

La structura cu termoizolaţia la interior, cantitatea unitară de vapori de apă ce se poate acumula în condiţii de iarnă $P_i = 0,62\ g/m^2.h$, este maximă în comparaţie cu debitul $P_a = 0,27\ g/m^2.h$, la structura cu termoizolaţia la exterior şi $P_a = 0,37\ g/m^2.h$, la structura simetrică cu termoizolaţia centrală. Rezultă deci că structura de perete cu termoizolaţia la exterior este mai indicată şi din punct de vedere al acumulării vaporilor de apă din condens în condiţii de iarnă. In ce priveşte evacuarea apei condensată în structura peretelui comportarea variantei de perete cu termoizolaţie la exterior, este optimă, deoa-

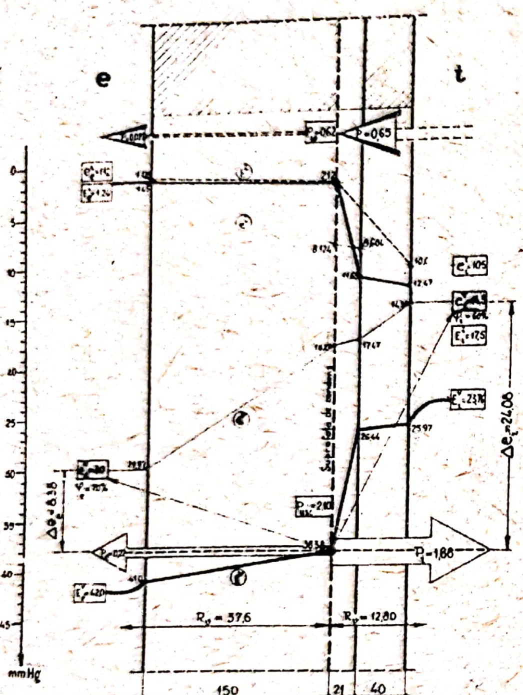


Fig.105. Acumularea umidităţii la perete în 3 straturi cu izolaţia termică la interior.

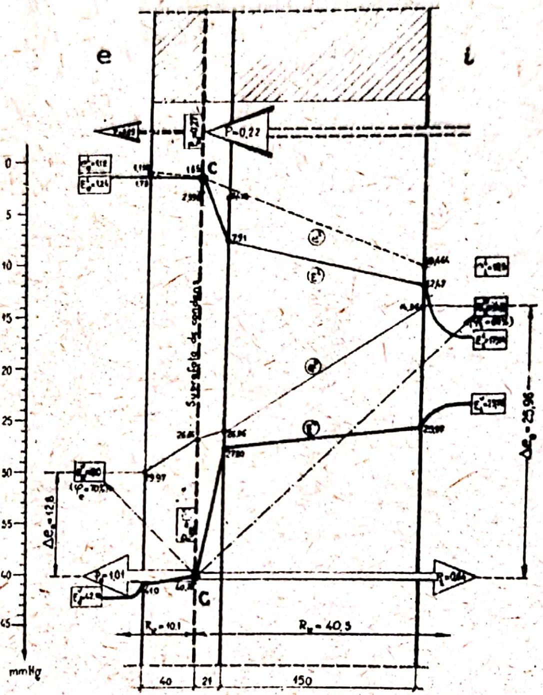


Fig.106. Acumularea umidităţii la perete în 3 straturi cu izolaţia termică la exterior.

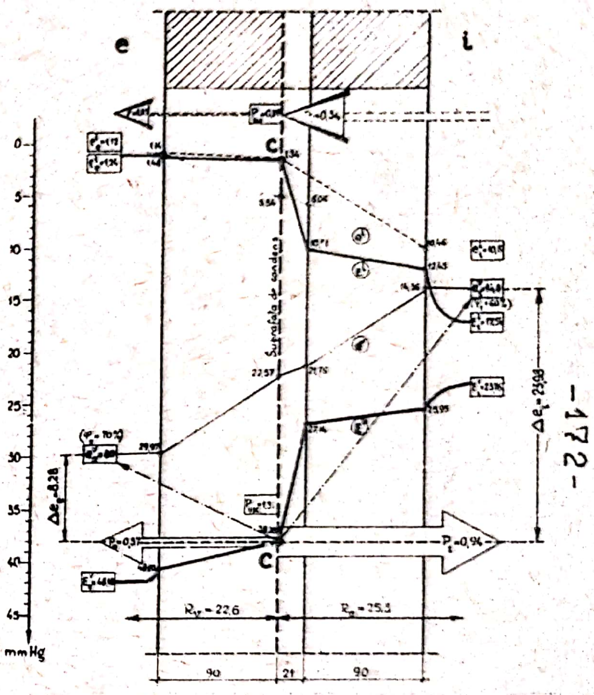


Fig.107. Acumularea umidităţii la perete cu structură simetrică şi termoizolaţie la mijloc.

rece cantitatea de vapori ce se elimină prin exterior $P_e = 1,01 > P_i = 0,64$ g/m^2.h, în comparaţie cu structura cu termoizolaţie la interior la care $P_i = 1,88 > P_e = 0,22$ şi structura simetrică la care $P_i = 0,94 > P_e = 0,33$ şi la care eliminarea condensului are loc în mare parte prin interior.

1.14. Caracteristicile termice ale pereţilor în regim nestaţionar.

Cercetări efectuate la clădiri în exploatare privind comportarea termică în regim nestaţionar (10), au scos în evidenţă caracterul sinusoidal, periodic al oscilaţiei termice a aerului exterior, interior şi a suprafeţelor interioare şi exterioare a pereţilor, fenomen cu perioada de 24 ore, o lună sau un an.

In tab.7. se prezintă caracteristicile termice şi de umiditate, valorile amortizării şi defazajului oscilaţiei termice a unor tipuri de bază de pereţi.

Tabel 7

CARACTERISTICILE HIGROTERMICE ALE PRINCIPALELOR STRUCTURI DE PERETI

Nr.	Tipul de perete	Grosimea straturilor	λ kcal/mh°C	μ g/m h mm Hg	R_0 m²h°C/kcal	R_v m²h mm Hg/g	Amortizarea termică ν – valori calculate după Şklover	Amortizarea termică ν – valori determinate prin analogie	Defazajul η (ore) – valori calculate după Şklover	Defazajul η (ore) – valori determinate [illegible]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Zidărie obişnuită	0,50	0,7	0,014	0,715 / 0,19 / 0,905	35,7	77	45	16	16
2	Zidărie obişnuită	0,375	0,7	0,014	0,535	26,8	34	21,6	12,3	10
3	Zidărie eficientă cu 30% goluri	0,44	0,50	-	0,88 / 0,19 / 1,07	-	54	67,5	14,3	14,2
4	Zidărie eficientă cu [illegible] goluri	0,30	0,50	-	0,60 / 0,19 / 0,79	-	16,5	15,5	8,7	8,8
5	Panouri mari ceramice	0,23	0,41	-	0,56 / 0,19 / 0,75	-	-	-	-	-
6	Panouri mari de beton armat [illegible]	[illegible] / 0,06 / 0,05	[illegible] / 0,034 / 1,35	0,003 / 0,033 / 0,003	0,063 / 0,800 / 0,029 / 0,892 / 0,19 / 1,082	36,6 / 2,0 / 1,1 / 16,6 / 37,5	20,7	16	13	[illegible]
7	Panouri mari de beton armat	0,09 / 0,07 / 0,05	1,75 / 0,035 / 1,75	0,003 / 0,033 / 0,003	0,054 / 1,000 / 0,029 / 1,083 / 0,19 / 1,273	31,0 / 3,0 / 1,6 / 10,5 / 32,6	-	-	-	-
8	Panouri mari [illegible]	0,15 / 0,12 / 0,23	1,40 / 0,035 / 1,20	0,004 / 0,028 / 0,004	0,107 / 0,480 / 0,035 / 0,622 / 0,19 / 0,812	37,5 / 5,0 / 4,3 / 12,5 / 37,3	33	17,2	[illegible]	[illegible]

Din datele prezentate, în condițiile regiunii II-a climatice, rezultă că, în general, tipurile de pereți studiați satisfac condițiile de exploatare pentru umiditate normală. Valorile amortizării și defazajului după Sklover, calculate ca raport între amplitudinile termice ale aerului exterior și suprafeței interioare a pereților exteriori și ca raport între amplitudinile oscilațiilor termice ale suprafețelor exterioare și interioare ale pereților exteriori, sînt comparate cu valorile determinate prin analogie electrică în cadrul cercetărilor de la Iași, luînd în considerare și capacitatea de acumulare termică a pereților interiori și a planșeelor. In raport cu valorile minime ale amortizării termice prescrise de Eichler (ν = 10...15) , se consideră că pentru climatul nostru amortizarea termică minimă a pereților nu trebuie să coboare sub 20, pentru a se obține o comportare termică echivalentă zidului etalon din cărămidă plină de 37,5 cm grosime. Analizînd structurile de pereți utilizate în R.S.România în raport cu noul criteriu rezultă că în condițiile regimului de încălzire discontinuu, numai pereții de 50 cm și 37,5 cm grosime din cărămidă plină și peretele din zidărie de cărămidă eficientă de 44 cm, grosime satisfac această condiție. Pentru celelalte tipuri de pereți este necesară o creștere a capacității de izolare termică pentru a se obține o comportare optimă în special în condiții de vară.

Din punctul de vedere al defazajului oscilației termice, se consideră că valoarea minimă nu trebuie să coboare sub η = 10 pentru a avea o comportare comparabilă cu peretele etalon din zidărie de cărămidă plină de 37,5 cm grosime. Se apreciază că principalele tipuri de pereți, înafară de panourile mari, satisfac acest criteriu avînd valorile defazajului între 7,8 și 10 față de valorile minime recomandate de Eichler și cuprinse între 6...10.

2. Dimensionarea higrotermică a acoperişului.

2.1. Rezistenţa termică necesară a acoperişului.

Adoptarea pe scară largă a acoperişurilor fără pod la clădiri social-culturale, locuinţe şi construcţii industriale, face ca proiectarea judicioasă din punct de vedere termic a acestor elemente de construcţie să fie o preocupare importantă care trebuie să stea în atenţia inginerului constructor.

In general rezistenţa termică necesară pentru acoperiş este mai mare faţă de pereţii exteriori pentru ca pierderile de căldură în timpul iernii să fie mici, condensările de vapori de apă să fie reduse, iar efectul radiaţiei solare pe timp de vară să fie minim, asigurîndu-se un confort corespunzător şi evitîndu-se solicitări defavorabile din variaţia de temperatură.

Rezistenţa termică necesară a acoperişului se poate calcula cu relaţia:

$$R_{o\,nec} = \frac{(t_i - t_e)\,m}{7 \cdot \Delta\tau_i} \qquad (241)$$

în care: - R_{onec}, rezistenţa termică necesară a acoperişului în $m^2.h.^{o}C/Kcal$;

- m, coeficient de masivitate;
- t_i, temperatura de calcul a aerului interior conform anexei V, în ^{o}C;
- t_e, temperatura de calcul a aerului exterior conform anexei VI, în ^{o}C;
- $\Delta\tau_i$, căderea de temperatură între aerul interior şi suprafaţa interioară a acoperişului, în ^{o}C (anexa IX).

Dimensionarea termică a acoperişului implică verificarea inegalităţii:

$$R_{ef} \geq R_{onec} \qquad (242)$$

In tabelul 8 sînt prezentate valorile R_{onec}, cuprinse între 1,20 şi o,78 $m^2.h.^oC/Kcal$ în funcţie de valorile $\Delta\tau_i = 4,5^oC$ şi $5,5^oC$ şi regiunile climatice din R.S.România (anexa IX).

Tabelul 8

Valorile $R_{onec} = R_{o/m}$ pentru clădiri de locuit, administrative şi social - culturale

Destinaţia clădirii	Zona climatică		
	I $t_e = -12^oC$	II $t_e = -15^oC$	III $t_e = -18^oC$
- Incăperi de locuit, spitale, creşe, grădiniţe de copii, etc. $t_i = 20^oC$ $\Delta\tau_i = 4,5$	1,02	1,11	1,20
- Teatre, cinematografe, şcoli, cluburi, gări, clădiri social-sanitare anexe ale întreprinderilor industriale, etc. cu $t_i = 18^oC$ şi $\Delta\tau_i = 5,5^oC$	o,78	o,86	o,94

Analiza comportării acoperişurilor în regim nestaţionar presupune calculul amortizării şi defazajului oscilaţiilor termice şi verificarea inegalităţilor:

$$\nu_{ef} \geq \nu_{nec} ; \eta_{ef} \geq \eta_{nec} \qquad (243)$$

Valorile necesare ale amortizării termice şi defazajului oscilaţiilor termice sînt prezentate în anexele XI.

Aspecte particulare prezintă realizarea condiţiei de evitare a condensului la colţurile orizontale ale cornişei, datorită transmisiei plane a căldurii şi a modului de izolare termică a terasei şi a centurilor ultimului etaj, fig.108. In cazul cornişei neizolată termic, fig.109, efectul de punte termică se manifestă pe toată înălţimea centurii, în cazul cînd izolaţia termică a terasei este dispusă la partea inferioară a planşeului.

Fig.108. Efectul de punte termică a cornişei datorită transmisiei plane a căldurii.

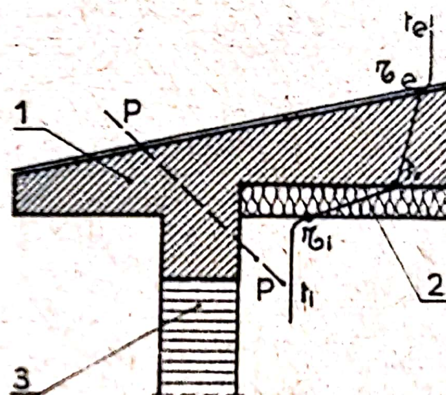


Fig.109. Cornişă neizolată termic la terasă cu izolaţia la partea inferioară. 1-Beton armat; 2-Izolaţie termică; 3- Zidărie - perete; p-p, punte termică.

Betonul armat din centură este supus la diferenţe de temperaturi negative. O comportare mai bună se obţine prin izolarea interioară a centurii, în zona cornişei în continuarea izolaţiei orizontale a terasei, fig.110, soluţie care este judicioasă la umidităţi ale aerului interior mai mici de 60%. Izolaţia termică exterioară a centurii, fig.111, în zona cornişei nu apare judicioasă deoarece se manifestă efectul de punte termică în secţiunea

înclinată p – p conturîndu-se o zonă rece susceptibilă de condensări ale vaporilor de apă. In cazul dispoziției izolației termice la partea superioară, extinsă și pe înălțimea buiandrugului, fig.112, se obține o comportare mai bună prin micșorarea zonei mai reci datorită efectului de punte termică. Extinderea izolației termice a centurii și pe porțiunea orizontală a cornișei, fig. 113, contribuie la îmbunătățirea comportării termice a părții exterioare a terasei. Comportarea optimă a cornișei din punct de vedere higrotermic se obține în cazul izolației termice totale la exterior, fig.114, soluția constructivă putînd fi adoptată și la umidități ale aerului interior mai mari de 60%. Protecția izolației termice, dispusă la exterior, se asigură prin tencuială exterioară din mortar de ciment pe suport de rabiț.

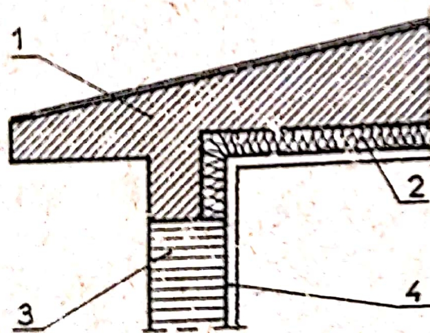


Fig.110. Izolarea interioară a centurii în zona cornișei: 1-Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; 4- Tencuială interioară.

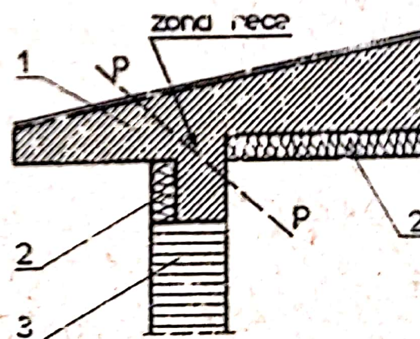


Fig.111. Izolarea exterioară a centurii în zona cornișei: 1- Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; p-p, punte termică.

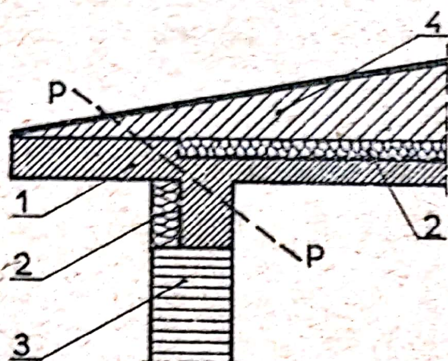


Fig.112.Cornişă cu izolaţia termică a terasei la partea superioară şi a butandrugului la exterior.1-Beton armat; 2- Izolaţie termică; 3- Zidărie perete;4- Beton pantă ; p-p, punte termică.

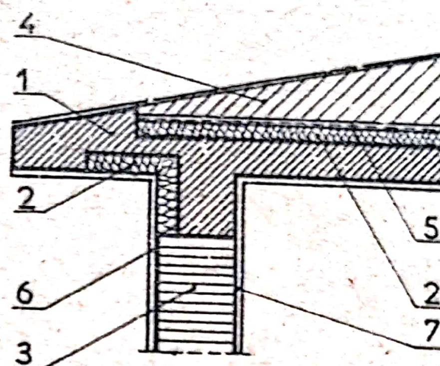


Fig.113. Cornişă cu izolaţie orizontală exterioară şi verticală a centurii; 1-Beton armat; 2- Izolaţie termică; 3- Zidărie perete; 4- Beton pantă; 5- Mortar de egalizare şi rabiţ; 6- Tencuială exterioară; 7- Tencuială interioară.

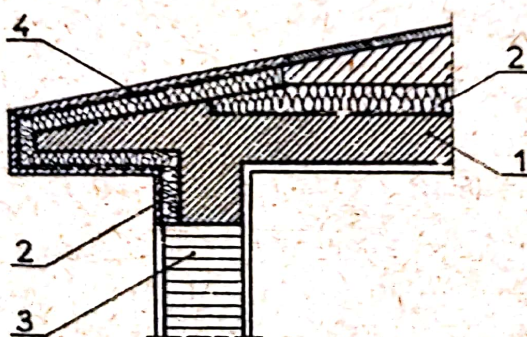


Fig.114.Izolarea termică totală a cornişei la exterior. 1 - Beton armat; 2- Izolaţie termică; 3- Zidărie perete; 4- Mortar de protecţie şi rabiţ.

2.2. Rezistenţa necesară a acoperişului la vapori de apă şi aer.

Rezistenţa necesară la permeabilitate la vapori R_{vnec} a planşeelor de pod sau a planşeelor duble de terasă cu goluri ventilate sau a acoperişurilor din produse în bucăţi (ţigle, plăci, de azbociment sau foi), etc. trebuie să îndeplinească condiţia:

$$R_{vef} \geq R_{vnec} = 1,2\ (P_i - P_e) \qquad (244)$$

în care:

- R_{vef} , rezistenţa efectivă la permeabilitate la vapori, în $m^2.h.mm\ Hg/g$;
- p_i , presiunea vaporilor de apă a aerului interior, în mm Hg , conform anexei IV.
- p_e , presiunea vaporilor de apă a aerului exterior, considerată ca medie pe perioada de iarnă corespunzătoare unei temperaturi de - 10^oC şi unei umidităţi de 85%, în mm Hg.

Rezistenţa necesară la permeabilitate la aer R_{anec} a acoperişurilor terasă ale clădirilor de locuit şi social-culturale trebuie să îndeplinească condiţia:

$$R_{anec} = 0,1 \cdot v^2 \cdot R_{onec} \qquad (245)$$

în care:

- R_{anec}, rezistenţa necesară a acoperişului la permeabilitate la aer, în $m^2.h.mm\ H_2O/Kg$;
- v , viteza de calcul a vîntului, considerată ca valoare medie pe perioada de iarnă (ianuarie, februarie, martie), avînd valoarea minimă de 5 m/s, la care se aplică sporurile următoare:

15 % pentru clădiri cu înălţimea de la 25 m la 50 m ;

40 % pentru clădiri cu înălţimea peste 50 m.

2.3. Calculul umidității acumulată de acoperiș.

Determinarea umidității are loc pentru durata medie la care începe să apară condensul, iar temperatura exterioară de calcul se adoptă ca temperatură medie pe acest interval de timp.

Cantitatea de vapori de apă condensată în elementul de construcție în perioada de iarnă se calculează cu relația:

$$P_a = p \cdot T_a \qquad (g/m^2) \qquad (246)$$

în care p are expresia:

$$p = \frac{p_i - p_{II}}{\sum_I \frac{d}{\delta}} - \frac{p_{II} - p_e}{\sum_{II} \frac{d}{\delta}} \qquad (g/m^2h) \qquad (247)$$

iar:

- p_i, p_e sînt presiunile vaporilor de apă din aerul interior și exterior în mm col Hg, corespunzător temperaturii t_i și umidității relative interioare φ_i și respectiv temperaturii t_e și umidității relative exterioare φ_e;

- p_I, p_{II}, presiunile vaporilor de apă în mm col Hg, corespunzătoare suprafețelor care limitează începutul și sfîrșitul zonei de condens;

- $\sum_I \frac{d}{\delta}$; $\sum_{II} \frac{d}{\delta}$, suma rezistențelor de permeabilitate la vapori în $m^2.h.mm\ Hg/g$, care delimitează straturile elementului de construcție situate respectiv de la suprafața interioară a elementului la suprafața de început a zonei de condens și de la suprafața de sfîrșit a zonei de condens la suprafața exterioară a elementului.

- T_a, durata de apariție a condensului în h, determinată de iarna medie convențională pentru zonă climatică a țării noastre în care este amplasată clădirea, corespunzător temperaturii aerului exterior de la care apare condensul interior al vapo-

rilor de apă, conform graficului din fig.115, care indică numărul de grade - ore în funcție de temperatura aerului exterior în perioada de iarnă.

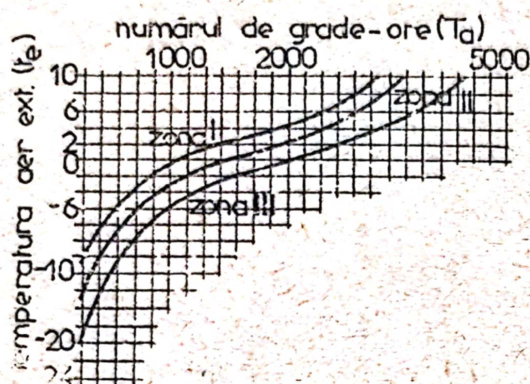


Fig.115. Graficul numărului de grade - ore în funcție de temperatura aerului exterior în perioada de iarnă.

Cu ajutorul cantității de vapori de apă acumulată P_a în elementul de construcție se determină creșterea umidității ΔW în termoizolație în perioada de iarnă, care trebuie să fie:

$$\Delta W = \frac{P_a}{100 \cdot d \cdot \rho} \leq \Delta W_{ad} \% \qquad (248)$$

(raportat la greutate)

(tabelul 9)

în care:

- d , grosimea stratului termoizolator în care se acumulează umiditatea, în m;
- ρ , densitatea aparentă a materialului termoizolator, în Kg/m^3.

Tabel 9

Valorile ΔW_{adm} %

Denumirea materialului	W_{adm} %
- zidărie din cărămizi de argilă	1,3
- zidărie din cărămizi eficiente din blocuri ceramice cu goluri, din cărămizi silico-calcare	2
- pereți din panouri mari cu beton de granulit, beton celular	4

Continuare tabelul 9

- pereţi din panouri mari cu beton celular	5
- produse din vată minerală	3
- spumă de polistirenă	15

2.4. Structura optimă a terasei din punct de vedere al evitării acumulărilor de vapori de apă.

Din punct de vedere al dispoziţiei stratului de termoizolaţie sînt în principiu posibile 3 structuri de terase:

a) terase cu stratul de termoizolaţie la partea inferioară fig.116;

b) terasă cu stratul de termoizolaţie la partea superioară fig.117 ;

c) terasă cu planşee din beton uşor, portant, realizat dintr-un material care asigură atît condiţia de portanţă la încovoiere cît şi cerinţele de izolare termică fig.118.

Terasa cu termoizolaţia la partea inferioară prezintă o zonă mare de condens cu debitul specific de vapori P_a = 1,847 g/m^2.h . Terasa cu structură alcătuită din termoizolaţie dispusă la partea superioară prezintă o zonă minimă de condens, cu P_a = 0,28 g/m^2.h , fiind cea mai judicioasă luînd în considerare că terasa omogenă, cu strat unic portant şi termoizolant, prezintă debitul specific de condens P_a = 1, 42 g/m^2.h.

Toate cele trei structuri prezintă condiţii de eliminare a vaporilor de apă în timpul verii cu debit maxim prin interiorul încăperilor.

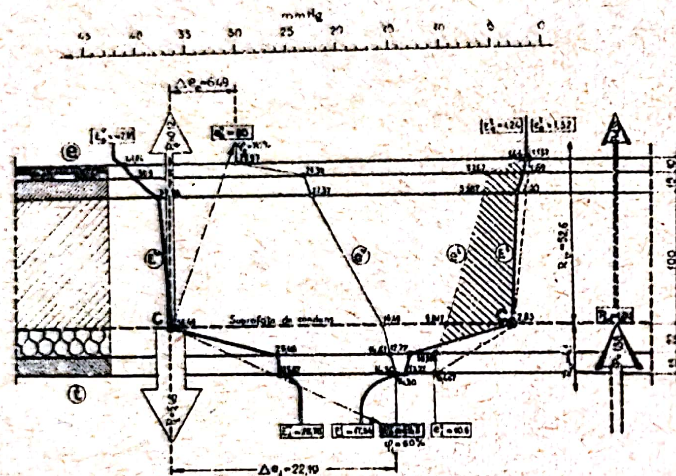


Fig.116. Acumularea şi eliminarea vaporilor de apă din terasă cu stratul de termoizolaţie la partea inferioară.

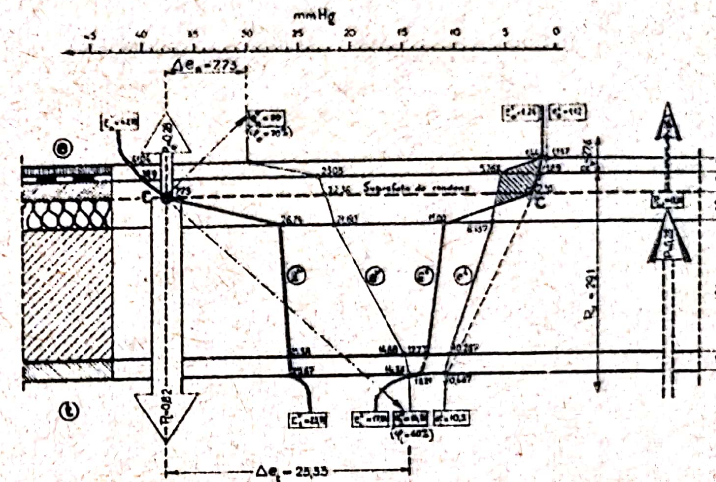


Fig.117. Acumularea şi eliminarea vaporilor de apă din terase cu stratul de termoizolaţie la partea superioară.

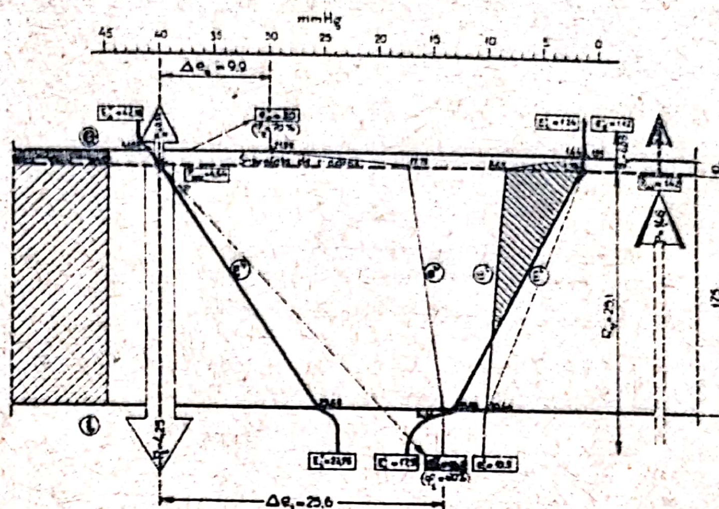


Fig.118. Acumularea şi eliminarea vaporilor de apă din terasă cu structură omogenă (planşeul din beton uşor portant).

2.5. Aerisirea naturală a acoperişului terasă.

Din studiul privind comportarea higrotermică a acoperişului terasă rezultă că structurile uzuale, adoptate în condiţiile pentru zonele climatice a I-a, II-a şi III-a din ţara noastră, prezintă teoretic şi practic fenomenul de condens. Eliminarea totală a condensului ar implica costuri mari în ce priveşte adoptarea unei izolaţii termice puternice şi realizarea unei bariere totale la partea superioară a planşeului portant. Eliminarea condensului la partea superioară a termoizolaţiei se poate obţine cu ajutorul unui strat de difuzie din carton perforat, cu capacitate mare de absorbţie a vaporilor de apă, fig.119, fiind în contact la nivelul cornişei şi a rebordurilor verticale ale rosturilor de deformaţie, cu aerul exterior pentru eliminarea excesului de vapori. Zonele mai depărtate de cornişă nu asigură însă drena-

reu optimă a vaporilor de apă, iar în cazul cînd capacitatea de absorbţie a stratului de difuzie nu este suficientă, eliminarea condensului nu este asigurată.

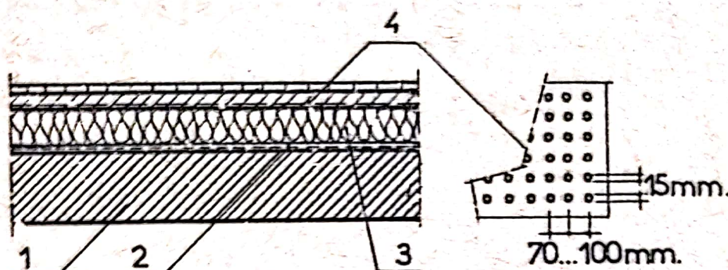


Fig.119. Aerisirea naturală a planşeului terasă cu strat de difuzie. 1 - Beton armat ; 2 - Barieră vapori; 3 - Termoizolaţie ; 4 - Strat de difuzie ;

In cazul folosirii unor termoizolaţii din polimeri care prin structura lor reprezintă şi bariere de vapori se poate asigura drenarea vaporilor prin canale determinate de forma ondulată la partea inferioară a materialelor de izolaţie, fig.120.

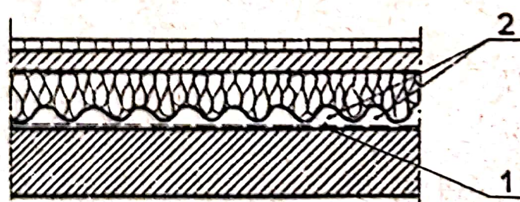


Fig.120. Drenarea vaporilor de apă prin canale în contact cu aerul exterior. 1 - Barieră de vapori; 2 - Canale de aer.

Aceste canale de aer trebuie să fie în contact cu exteriorul, la nivelul cornişei, pentru egalizarea presiunilor de vapori şi drenarea umidităţii din acoperiş.

O drenare bună se poate obţine cu strat de aer deasupra termoizolaţiei, fig.121, care în contact cu aerul exterior asigură circu-

lația și drenarea vaporilor de apă.

La suprafețe mari de acoperișuri, pentru asigurarea drenării părții centrale fig.122 , se pot folosi țevi deflectoare din tablă galvanizată care asigură detenta orizontală a vaporilor și eliminarea acestora pe la partea superioară. Țevile se prevăd de înălțime corespunzătoare depășind suprafața învelitorii cu 30...60 cm. Diametrul și distanțele între țevi se aleg luînd în considerare date practice referitor la eficiența acestui sistem.

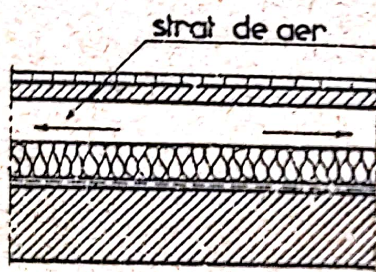


Fig.121. Drenarea terasei cu strat de aer deasupra termoizolației.

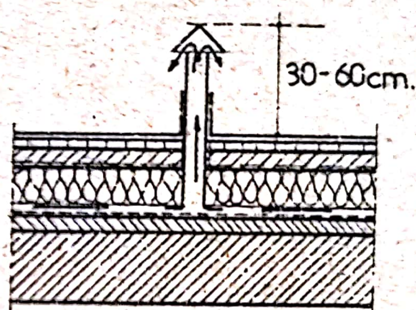


Fig.122. Drenarea vaporilor de apă din acoperiș cu țevi deflectoare.

2.6. Influența poziției izolației termice în pereți și terase asupra eforturilor din variația de temperatură.

Luînd în considerare cele trei structuri posibile de realizare a pereților exteriori, pentru condițiile din zona II-a climatică (t_e = - 15°C) , în cazul cînd izolația termică este dispusă la exterior fig.12 -a , pentru elementul de perete cu R_{oef} = 0,92 m^2.h.°C/Kcal, diferența totală de temperatură în stratul portant este de 19,08 °C față de 81,85 °C pentru cazul cînd termoizolația este interioară și 80,21 °C pentru structura simetrică, cu termoizolația la mijloc. Rezultă deci că și din punct

de vedere al unor eforturi minime din variația de temperatură, structura de perete cu termoizolația la exterior este optimă. La alcătuirea stratului pe protecție exterioară a termoizolației trebuie a se avea în vedere eforturile mari la care poate fi supus datorită acțiunii radiației solare.

In cazul teraselor, cu $R_{oef} = 1,11\ m^2.h.^oC/Kcal$, la structura cu termoizolația la exterior, pentru zona II-a climatică, diferența totală de temperatură între iarnă și vară, în stratul portant prezintă valoarea minimă, $\Delta t = 19,5\ ^oC$, fig.123-b. Pentru structura cu termoizolația la partea inferioară, $\Delta t = 67,6^oC$, și prezintă deci valoarea maximă. Pentru structura de terasă omogenă, cu stratul portant și termoizolant din același material, situația este intermediară, față de cele două cazuri precedente, diferența de temperatură în acest strat $\Delta t = 35,4\ ^oC$.

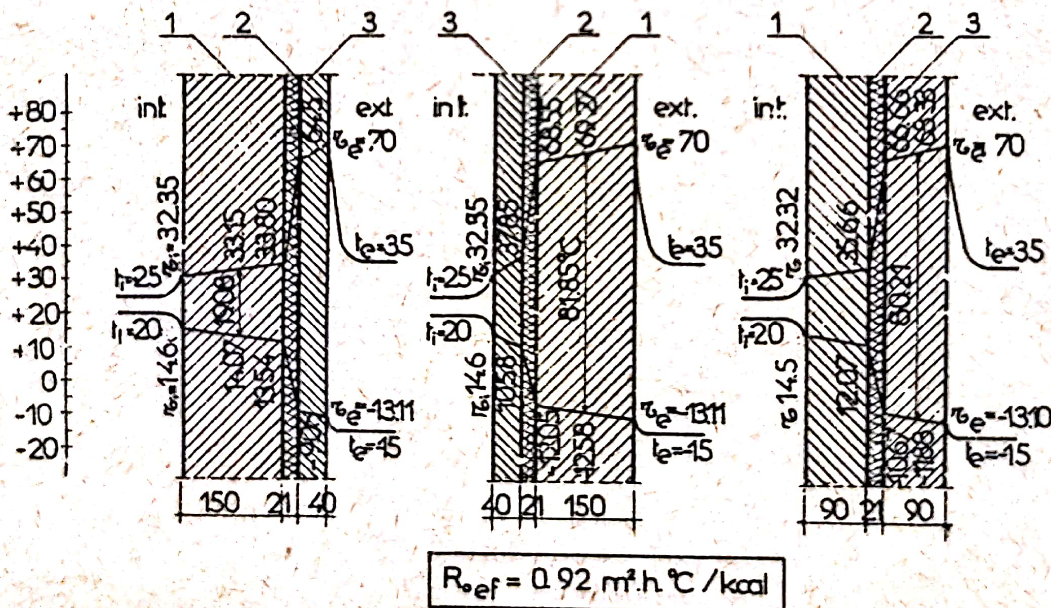


Fig.123,a. Influența izolației termice asupra eforturilor datorită temperaturii din peretele exterior.

A - Izolația termică la exterior; B - Izolația termică la

interior; C - structură simetrică.

1 - Strat de beton armat ; $\lambda = 1,4$ Kcal/m.h.°C ;

2 - Strat de izolație termică, polistiren, $\lambda = 0,035$ Kcal/m.h . °C;

3 - Strat de beton armat, $\lambda = 1,4$ Kcal/m.h.°C.

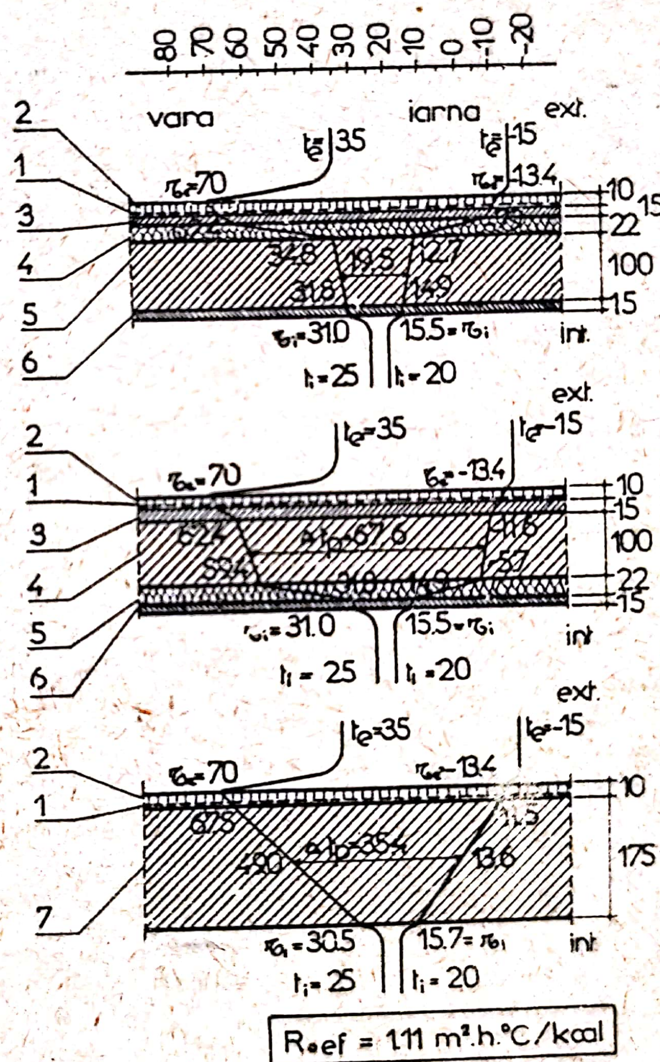


Fig.123,b. Influența izolației termice asupra eforturilor temperaturii din peretele exterior.

A - Izolația termică la partea superioară;

B - Izolația termică la partea inferioară;

C - Dale de beton armat izolate termic.

1 - Strat de protecția izolației hidrofufe, $\lambda = 0,5$ Kcal/m.h.°C ;

2 - Izolație hidrofugă ; 3 - Strat de egalizare, $\lambda = 1,2$ Kcal/m.h.°C ;

4 - Strat de izolație termică, polistiren, $\lambda = 0,035$;

5 - Planșee de beton armat monolit, $\lambda = 1,4$ Kcal/m.h.°C;

6 - Tencuiala plafonului, $\lambda = 0,75$ Kcal/m.h.°C ;

7 - Dale pentru planșeu din beton armat izolant termic, $\lambda = 0,20$ Kcal/m.h.°C.

Se poate face aprecierea că structura de terasă cu termoizolație la partea superioară este optimă din punct de vedere al efor . ilor în stratul portant, datorită variațiilor de temperatură.

Pentru a evita transmiterea eforturilor din variațiile de temperatură la care este supus stratul de mortar de protecție, armat cu rabiț, este necesar un strat de flotanță sub hidroizolație, realizabil din hîrtie perfo sau nisip, fig.124.Protecția hidroizolației cu nisip, pietriș sau dală, precum și culoarea deschisă a protecției micșorează efectul radiației solare.



Fig.124. Flotanța învelitorii față de suport: 1 - Strat de flotanță ; 2 - mortar de protecție armat.

F. Caracteristicile termice ale pardoselilor.

Soluționarea judicioasă a pardoselilor din punct de vedere termic este o cerință importantă în construcțiile de

clădiri avînd în vedere faptul că omul prin intermediul încălţămintei vine în contact direct cu aceste elemente de construcţie. La diferenţe mici de temperatură între corpul omenesc şi pardoseală asigurarea confortului termic este condiţionată de schimburile de căldură prin conducţie, iar la diferenţe mai mari de temperatură intervin şi fenomene de radiaţie şi convecţie. Avînd în vedere aceste considerente s-a căutat soluţionarea termică a pardoselii pe calea stabilirii diferenţei de temperatură maximă admisibilă între aerul din încăpere şi suprafaţa elementului de construcţie, recomandîndu-se pentru clădiri de locuit şi social-culturale, valoarea $t_i - \tau_i = +2{,}5^{\circ}C$.

Rezistenţa termică necesară pentru a asigura $\Delta\tau < 2{,}5^{\circ}C$ rezultă:

$$R_{onec} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \tau_i} R_i = \frac{20+15}{2{,}5} \times 0{,}143 \cong 19\ m^2 h\ ^{\circ}C/kcal \quad (249)$$

Aplicarea acestei condiţii conduce la costuri mari în ce priveşte izolaţia termică necesară astfel încît STAS 6472 - -68 prevede prescripţii mai puţin severe astfel:

- la clădiri de locuit şi social-culturale $\Delta\tau < 4^{\circ}C$;
- la clădiri industriale de producţie, $\Delta\tau < 7^{\circ}C$.

Considerînd temperatura curentă a aerului interior $t_i = +20^{\circ}C$, rezultă că temperatura suprafeţei pardoselii τ_i nu trebuie să coboare sub $16^{\circ}C$.

La stabilirea acestor recomandări se are în vedere faptul că senzaţia de confort este influenţată şi de alţi factori, în afara temperaturii suprafeţei pardoselii din care menţionăm temperatura aerului, viteza aerului, durata de staţionare, natura materialelor pardoselilor, caracteristicile încălţămintei şi condiţiile subiective ale omului.

Caracterizarea materialelor componente ale pardoselilor din punct de vedere al confortului termic se poate obţine prin

luarea în considerare a coeficientului de asimilare termică S_{24}, definit de relaţia:

$$S_{24} = 0,51\sqrt{\lambda c \varrho} \qquad (250)$$

Aprecierea comportării termice a pardoselilor se poate obţine şi prin luarea în considerare a coeficientului de pătrundere a căldurii „b", având expresia:

$$b=\sqrt{\lambda . c \varrho} \quad [Kcal/m^2 . h . °C] \qquad (251)$$

După valorile coeficientului „b", pardoselile se clasifică astfel:

- pardoseli foarte calde, dacă $b<5,0$ $Kcal/m^2.h^{0,5}.°C$
- pardoseli calde, dacă $b = 5,1...10,0$ $Kcal/m^2.h^{0,5}.°C$
- pardoseli călduroase, dacă $b = 10,1...15,0$ "
- pardoseli răcoroase, dacă $b = 15,1...20,0$ "
- pardoseli reci, dacă $b > 20,1$ "

Luînd în considerare că temperatura suprafeţei de contact între corpul omenesc şi pardoseală depinde de temperaturile elementelor în contact t_1, t_2 şi de coeficienţii de asimilare termică a celor 2 corpuri, valoarea temperaturii de contact, t_c rezultă din egalitatea fluxurilor de căldură:

$$(t_1-t_c)\sqrt{\lambda_1 c_1 \varrho_1} = (t_c-t_2)\sqrt{\lambda_2 c_2 \varrho_2} \qquad (252)$$

de unde:

$$t_c = \frac{t_1 \cdot b_1 + t_2 \cdot b_2}{b_1 + b_2} \qquad (253)$$

sau

$$t_c = \frac{t_1 \cdot s_1 + t_2 s_2}{s_1 + s_2} \qquad (254)$$

In funcţie de valorile coeficienţilor de asimilare termică ai corpului omenesc (s_1 = 6 Kcal/m^2.h.^{o}C) şi ai diferitelor materiale (s_2 = 2....14 Kcal/m^2.h.^{o}C) şi de temperatura suprafeţei pardoselilor, valorile t_c pot fi cuprinse între 22^{o}C şi 28^{o}C, valoarea cea mai caldă fiind cea mai favorabilă .

Pe baza cercetărilor recente ale lui W.Frank în R.F.Germania, se prezintă în fig.125 clasificarea senzaţiei termice în confortabil, răcoros, rece şi îngheţat, în funcţie de temperatura aerului şi temperatura suprafeţei, iar în fig.126, în raport cu durata de staţionare.

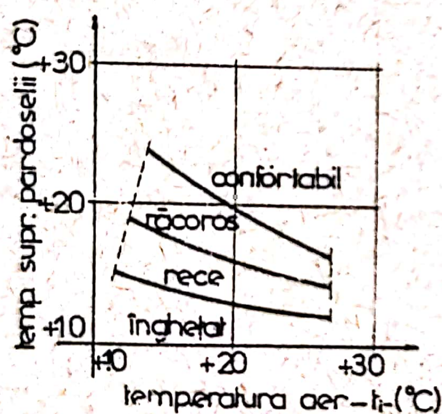


Fig.125. Senzaţia de confort la pardoseli, în funcţie de temperatura suprafeţei şi a aerului interior.

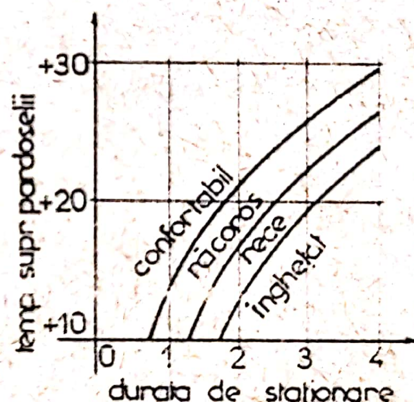


Fig.126. Senzaţia de confort la pardoseli în funcţie de temperatura suprafeţei şi durata staţionării.

Senzaţia de confort este determinată nu numai de materialul stratului de suprafaţă al pardoselii ci de structura sa, de temperatura de suprafaţă, de temperatura aerului, de viteza de mişcare a acestuia şi durata de staţionare. Ţinînd seama de aceste considerente în încăperile de producţie cu staţionare a

oamenilor se prevăd măsuri locale pentru locurile fixe, iar pentru încăperile de circulaţie se aleg structuri care să permită întreţinerea permanentă a acestora.

G. EXEMPLE DE CALCUL

Exemplul 1.

Să se studieze comportarea la umiditate a pereţilor din panouri mari de beton armat în trei straturi, în regim staţionar, pentru condiţiile de iarnă din zona a II-a climatică.

Structura panoului prezentată în fig.127 este alcătuită din:

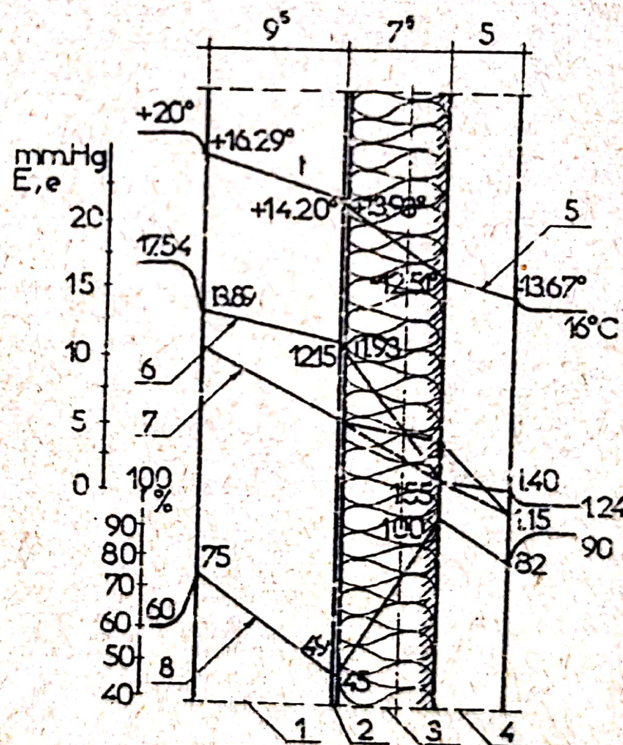


Fig.127. Determinarea condensului şi umezirii unui perete în panouri mari: 1-beton; 2-carton asfaltat; 3-vată minerală; 4-beton armat; 5- curba temperaturilor (t); 6-curba elasticităţii maxime (E); 7-curba elasticităţii partiale (e); 8-curba umidităţi-

lor relative (φ)

- Strat exterior de beton armat de 5 cm grosime cu $\rho = 2400$ Kgf/m^3 , $\lambda = 1,4$ Kcal/m.h.°C ;

- Strat intermediar din plăci de vată minerală de 7,5 cm grosime, cu $\rho = 350$ Kgf/m^3, $\lambda = 0,075$ Kcal/m.h.°C ;

- Strat de carton asfaltat de 0,1 cm grosime cu $\rho = 1200$ Kgf/m^3, $\lambda = 0,15$ Kcal/m.h.°C ;

- Strat interior din beton de 9,5 cm grosime cu $\rho = 2200$ Kgf/m^3, $\lambda = 1,2$ Kcal/m.h.°C.

Condiţiile climatice interioare şi exterioare sînt:

$$t_i = +20^\circ C, \quad \varphi_i = 60\ \% ;$$

$$e_i = 10,52 \text{ mm Hg} ;$$

$$t_i = -15^\circ C ; \quad \varphi_e = 90\ \% ;$$

$$e_e = 1,12 \text{ mm Hg}$$

Calculul este prezentat în tabelul 10. Pe baza rezistenţei la permeabilitate termică a fiecărui strat se calculează rezistenţa termică totală, $R_o = 1,319$ m^2.h.°C/Kcal şi pe această bază temperatura t în stratul n. Cu ajutorul datelor din anexa XV, se calculează elasticitatea maximă de vapori E_n. Folosindu-se elementele din tabelul 10 privind coeficientul de permeabilitatea la vapori de apă δ se determină rezistenţa totală la permeabilitate la vapori $R_{ev} = 32,6$ m^2.h.mm Hg/g şi cunoscîndu-se umidităţile relative $\varphi_{i,e}$ se calculează elasticităţile parţiale de vapori e_n în structurile n. Cu aceste date se calculează umiditatea relativă φ_n în straturile componente. Trasînd la o anumită scară, curbele „E" şi „e" rezultă zona din perete unde se poate produce condens (curba $\varphi = 100\ \%$)

Tabelul 10

Calculul umidității la pereți din panouri mari, în timp de iarnă

Nr. crt	Stratul de material	Grosimea m	Conductivitatea termică λ Kcal/mh°C	Rezistența la permeabilitatea termică R_n m²h°C/Kcal	Diferența de temperatură Δt_i °C	Temperatura t_i	Elasticitatea maximă la vapori de apă E_n mmHg	Coeficientul de permeabilitate la vapori de apă δ g/mhmmHg	Rezistența la permeabilitate la vapori de apă R_{v_n} m²h.mmHg	Diferența elastică de vapori de apă Δe_n mmHg	Elasticitatea vaporilor de apă e_n mmHg	Umiditatea relativă φ_n %	Umiditatea după izoterma de absorbție ω_{gn} %
1.	Aer int.	–	–	–	–	+20,0	17,54	–	–	–	10,52	60	
2.	Supraf. inter.	–	–	0,14	3,7	+16,29	13,89	–	0,2	0,06	10,46	75	
3.	Beton greu	0,095	1,20	0,079	2,09	+14,20	12,15	0,006	15,5	4,47	5,99	49	
4.	Carton asfalt.	0,001	0,15	0,01	0,27	+13,93	11,93	–	3,0	0,86	5,13	43	0,26
5.	Plăci semirigide de vată	0,075	0,075	1,00	26,54	–12,61	1,55	0,055	1,3	0,38	4,75	100	1,90
6.	Beton greu armat	0,05	1,40	0,04	1,06	–13,67	1,40	0,004	12,5	3,60	1,15	82	
7.	Supraf. ext.	–	–	0,05	1,33	–15,0	1,24	–	0,1	0,03	–	90	–
8.	Aer ext.	–	–	–	–	–15,0	1,24	–	–	–	1,12	90	–

$R_o = 1,319$ $t = 35$ $R_{v_o} = 32,6$ $e = 9,40$

Debitul specific de vapori ce intră pe suprafaţa din stînga zonei de condens, conform relaţiei 173 este:

$$P_I = \frac{5,13 - 1,55}{0,075} = 2,75\ g/m^2.h$$

Debitul specific de vapori ce iese din suprafaţa din dreapta zonei de condens este:

$$P_{II} = \frac{1,55 - 1,15}{\frac{0,05}{0,004}} = 0,03\ g/m^2.h$$

Debitul unitar de vapori de apă care se condensează rezultă:

$$P_a = 2,75 - 0,03 = 2,72\ g/m^2.h$$

Umiditatea de absorbţie a vatei minerale, raportată în % la greutate, la umiditatea relativă a aerului de 100% este 1,9%. La greutatea vatei minerale de 350 x 0,075 = 26,25 Kg/m^2, pentru a se obţine umiditatea de absorbţie este necesar a se considera cantitatea de vapori de apă:

$$\frac{26,25 \times 1,9}{100} = 0,490\ Kg$$

Numărul de zile după care se obţine umiditatea de sorbţie în vata minerală este:

$$Z = \frac{490}{2,72 \cdot 24} \cong 8\ zile$$

Valoarea reală a conductivităţii termice a materialului în aceste condiţii devine:

$$\lambda_{\omega} = \lambda_e + \lambda_e \cdot \frac{\eta \cdot \omega_g}{100} = 0,075 + 0,075 \cdot \frac{2,9 \cdot 1,9}{100} = 0,078\ Kcal/m.h.°C.$$

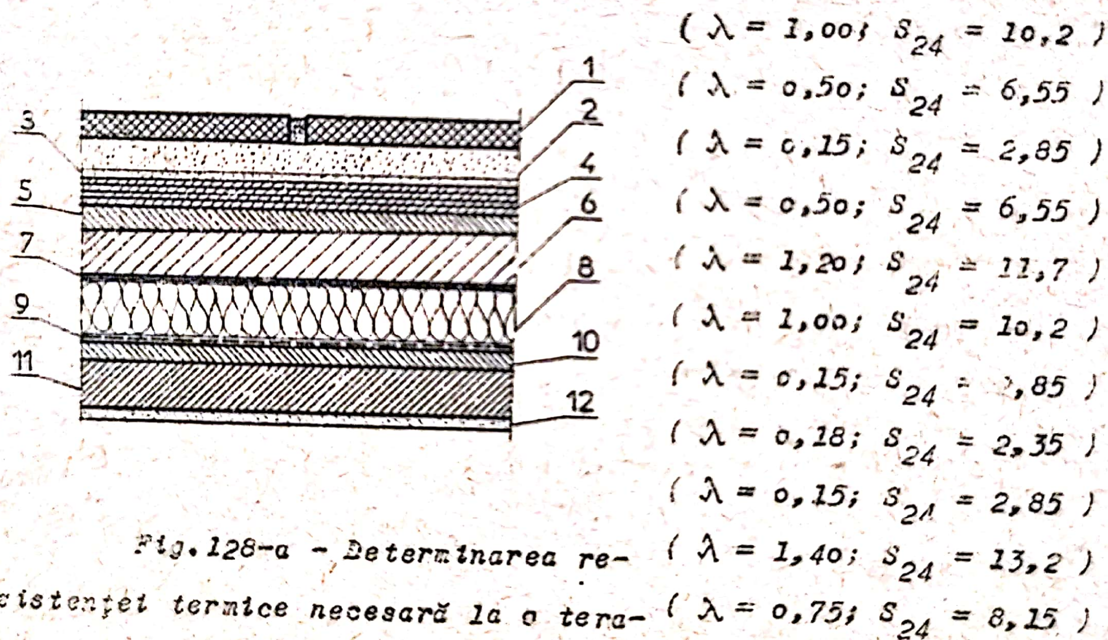
Exemplul 2.

Se cere determinarea izolației termice la terasa unei clădiri de locuit, amplasată în zona a II-a climatică ($t_e = -15^0 C$)

Rezistența termică necesară, fără luarea în considerare a inerției termice este dată de relația:

$$R_{onec} = \frac{R_o}{m} = \frac{t_i - t_e}{7 \cdot \Delta \tau} = \frac{35}{7 \cdot 4,5} = 1,11 \ m^2 \cdot h \cdot {}^oC/Kcal$$

Considerînd soluția de terasă prezentată în figura 128-a, pe baza caracteristicilor termice ale materialelor componente, anexa I, se poate determina rezistența termică efectivă pe baza expresiei:



(λ = 1,00; S_{24} = 10,2)
(λ = 0,50; S_{24} = 6,55)
(λ = 0,15; S_{24} = 2,85)
(λ = 0,50; S_{24} = 6,55)
(λ = 1,20; S_{24} = 11,7)
(λ = 1,00; S_{24} = 10,2)
(λ = 0,15; S_{24} = 2,85)
(λ = 0,18; S_{24} = 2,35)
(λ = 0,15; S_{24} = 2,85)
(λ = 1,40; S_{24} = 13,2)
(λ = 0,75; S_{24} = 8,15)

Fig. 128-a - Determinarea rezistenței termice necesară la o terasă: 1- dale de mozaic 30.30.30 mm; ρ = 2000 Kgf/m^3; 2- nisip 30-40 mm, ρ = 1600 Kgf/m^3 ; 3- strat de protecției a hidroizolației (nisip cernut fin 2-4 mm peste ultimul strat de bitum ; 4- izolație hidrofugă (un strat carton asfaltat + 2 straturi pînză asfaltată + 4 bitum); 5- strat de egalizare 1,5 cm , ρ = 2200 Kgf/m^3 ; beton de pantă, ≥ 30 mm, ρ = 2000 Kgf/m^3 ; 7- carton asfaltat; 8- blocuri de beton celular 11 cm , ρ = 600 Kgf/m^3 ; 9- barieră de vapori (1-2 straturi de carton asfaltat); 10- strat egalizare, 1,5 cm ρ = 2200 Kgf/m^3 ;

11 – planşeu de beton armat monolit, 10 cm, $\rho = 2400\ Kgf/m^3$;

12 – tencuială tavan 1,5 cm, $\rho = 1700\ Kgf/m^3$.

$$R_{ef} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} = 0,14 + \frac{0,03}{1,0} + \frac{0,04}{0,50} + \frac{0,01}{0,15} +$$

$$+ \frac{0,004}{0,50} + \frac{0,015}{1,20} + \frac{0,03}{1,0} + \frac{0,002}{0,15} + \frac{d_{iz}}{0,18} + \frac{0,004}{0,15} + \frac{0,015}{1,20} +$$

$$+ \frac{0,10}{1,40} + \frac{0,015}{0,75} + 0,05 = 1,11\ m^2.h.^oC/Kcal$$

Din această relaţie se poate determina grosimea „d_{iz}" a stratului termoizolant

$$d_{iz} = 0,18\ (1,11 - 0,558) \cong 10\ cm.$$

Se calculează caracteristica "D" a inerţiei termice, cu expresia:

$$D = \sum_{K=1}^{n} R_k \cdot S_k = 3,784$$

Conform datelor din anexa VIII pentru D = 3-4, m = 1,05, astfel încît rezistenţa termică necesară rezultă:

$$R_o = m \cdot R_{onec} = 1,05\ \ 1,11 = 1,16\ m^2.h.^oC/Kcal$$

Grosimea finală a stratului de termoizolaţie "d_{iz}" rezultă 11 cm.

Exemplul 3.

Să se studieze comportarea la umiditate a unei terase, în regim staţionar, pentru condiţiile de iarnă din zona a II-a climatică. Structura terasei, prezentată în figura 128 – b , este alcătuită din :

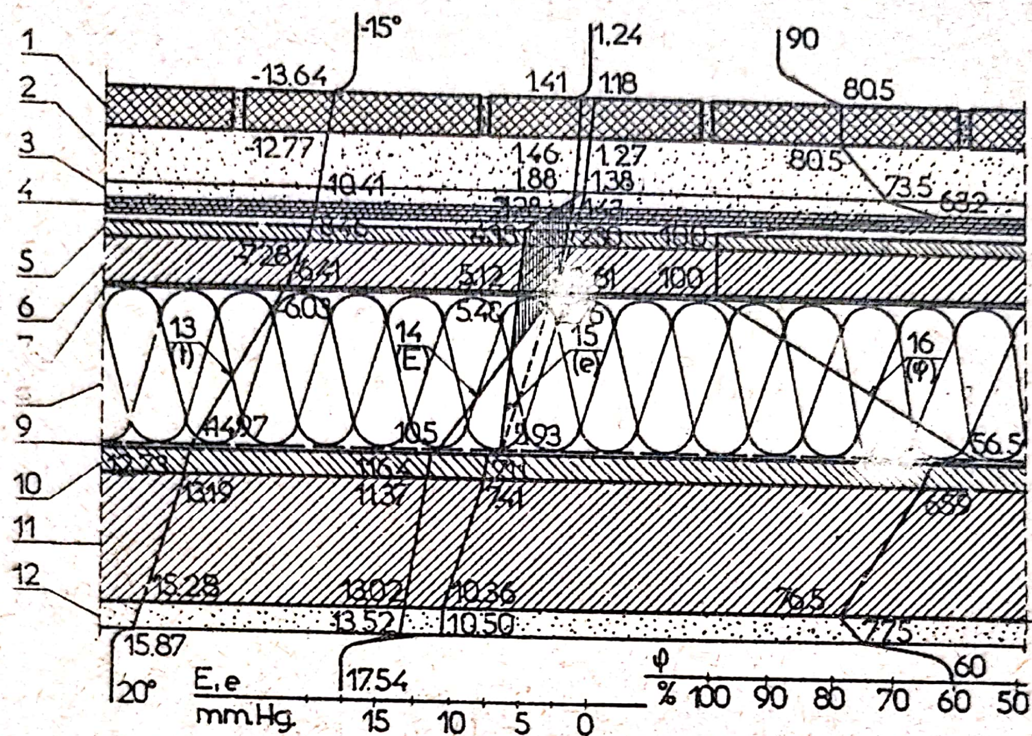


Fig.128 - b - Determinarea condensului şi umezirii unei terase, pe timp de iarnă ; 1 - dale de mozaic; 2 - nisip ; 3 - strat protecţie hidroizolaţie ; 4 - izolaţie hidrofugă ; 5 - strat de egalizare ; 6 - beton pantă ; 7 - carton asfaltat ; 8 - blocuri de beton celular ; 9 - barietă vapori ; 10 - strat egalizare; 11 - planşeu b.c. 12 - tencuială tavan; 13 - curba temperaturilor; 14 - curba elasticităţii maxime (E) ; 15 - curba elasticităţii parţiale (e); 16 - curba umidităţii relative (φ).

- Dale de mozaic 300.300.30 mm ; ρ = 2000 Kgf/m^3 ;

  λ = 1,0 Kcal/m.h.°C ;

- Nisip 30-40 mm ; ρ = 1600 Kgf/m^3 ; λ = 0,5 Kcal/m.h.°C;

- Strat de protecţie a hidroizolaţiei 10 mm ;

  λ = 0,15 Kcal/m.h.°C ;

- Izolaţie hidrofugă (1 strat carton asfaltat + 2 straturi pînză asfaltată între 4 straturi de bitum).

- Strat de egalizare, 1,5 cm ; $\rho = 2200$ Kgf/m^3 ;

  $\lambda = 1,2$ Kcal/m.h.°C ;

- Beton de pantă, ≥ 30 mm; $\rho = 2000$ Kgf/m^3 ;

  $\lambda = 0,18$ Kcal/m.h.°C ;

- Carton asfaltat, 2 mm ; $\lambda = 0,15$ Kcal/m.h.°C ;

- Blocuri de beton celular 11 cm ;

  $\rho = 600$ Kgf/m^3; $\lambda = 0,18$ Kcal/m.h.°C ;

- Barieră de vapori (1-2 straturi de carton asfaltat);

- Strat egalizare 1,5 cm ; $\rho = 2200$ Kgf/m^3;

  $\lambda = 1,2$ Kcal/m.h.°C ;

- Planşeu de beton armat monolit 10 cm, $\rho = 2400$ Kgf/m^3

  şi $\lambda = 1,4$ Kcal/m.h.°C ;

- Tencuieli tavan, 1,5 cm ; $\rho = 1700$ Kgf/m^3 ;

  $\lambda = 0,75$ Kcal/m.h.°C

Calculul este prezentat în tabelul 11.Pe baza rezistenţei la permeabilitatea termică a fiecărui strat se calculează rezistenţa termică totală, $R_o = 1,188$ m^2.h.°C/Kcal şi pe această bază temperatura "t" în stratul "n".Cu ajutorul datelor din anexa XV se determină elasticitatea maximă de vapori "E_n" .Folosindu-se elementele din anexa XVIII privind coeficientul de permeabilitate la vapori de apă δ se determină rezistenţa totală la permeabilitate la vapori $R_{ov} = 79,65$ m^2 h.mm Hg/g şi cunoscîndu-se umidităţile relative $\varphi_{i,e}$ se calculează elasticităţile parţiale de vapori " e_n" în straturile "n".

Cu aceste date se calculează umiditatea relativă φ_n în straturile componente.Trasînd la o anumită scară curbele E şi e , rezultă zona din perete unde se poate produce condens (curba $\varphi = 100\%$).

Debitul specific de vapori ce intră prin suprafaţa

din stinga zonei de condens, conform relaţiei 173 este:

$$P_1 = \frac{5,93 - 2,67}{\frac{0,11}{0,0285}} = \frac{3,26}{\frac{0,11}{0,0285}} = 0,844 \ g/m^2.h$$

Debitul specific de vapori de apă care ies prin suprafaţa din dreapta zonei de condens este:

$$P_2 = \frac{2,67 - 1,43}{34,25} = \frac{1,24}{34,25} = 0,036 \ g/m^2.h$$

Debitul unitar de vapori de apă care se condensează rezultă:

$$P_a = 0,844 - 0,036 = 0,808 \ g/m^2.h$$

Umiditatea de sorbţie a betonului celular raportată în procente la greutate, la umiditatea relativă a aerului de 100% este 10,0 % . La greutatea betonului celular de $600 \cdot 0,11 = 66$ Kgf/m^2 , pentru a se obţine umiditatea de sorbţie este necesar a se condensa cantitatea de vapori de apă:

$$\frac{66 \cdot 10}{100} = 6,6 \ Kg$$

Numărul de zile după care se obţine umiditatea de sorbţie în betonul celular este:

$$Z = \frac{6600}{0,808 \cdot 24} = 340 \ zile$$

Intrucît timpul în care betonul celular atinge umiditatea de sorbţie este foarte mare, practic în intervalul de 2-3 luni cît durează iarna, această umiditate nu va fi atinsă.

Exemplul 4.

Să se determine amplitudinea oscilaţiei temperaturii pe suprafaţa interioară a peretelui din panouri mari de beton armat, în trei straturi (fig.129) la o clădire de locuit situată la latitudine de 45^0.

Tabelul 11

Calculul regimului de umiditate la terase în timp de iarnă

Nr. crt.	Stratul de material	Grosimea d	Conductivitatea termică λ Kcal/m.h°C	Rezistența la permeabilitatea termică R_n m²h.°C/Kcal	Diferența de temperatură Δt °C	Temperatura t_n °C	Elasticitatea maximă la vapori de apă E_n mmHg	Coeficientul de permeabilitate la vaporii de apă δ g/m/h.mmHg	Rezistența la permeabilitate la vaporii de apă R_{vn} m².h.mmHg/g	Diferența elastică de vapori de apă Δe_n mmHg	Elasticitatea vaporilor de apă e_n mmHg	Umiditatea relativă φ_n %	Umiditatea după izotermă de sorbție ω_{gn} %
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	aer interior	–	–	–	–	+ 20	17,54	–	–	–	10,52	60,0	
2.	suprafață interioară	–	–	0,140	4,13	15,87	13,52	–	0,20	0,023	10,497	77,5	
3.	tencuială tavan	0,015	0,75	0,020	0,59	15,28	13,02	0,013	1,15	0,136	10,361	79,5	
4.	planșeu b.a.	0,10	1,4	0,071	2,09	13,19	11,37	0,004	25,00	2,950	7,411	65,0	
5.	strat egalizare	0,015	1,2	0,012	0,36	12,73	11,04	0,006	2,50	0,295	7,116	64,5	

Continuare tabelul 11

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6. barieră vapori	0,004	0,15	0,[illegible]6	0,76	11,97	10,51	-	10,00	1,180	5,936	56,5		
7. blocuri de b.c	0,11	0,18	0,610	18,00	- 6,03	2,76	0,0285	3,86	0,456	5,480	- 100,0		
8. carton asfaltat	0,002	0,15	0,013	0,38	- 6,41	2,67	-	3,00	0,354	5,126	- 100,0		
9. beton de pantă	0,03	1,00	0,030	0,87	- 7,28	2,47	0,008	3,75	0,443	4,683	- 100,0		
10. strat de egulizare	0,015	1,20	0,012	0,36	- 7,84	2,39	0,006	2,50	0,295	4,388	- 100,0		
11. izolație hidrofugă	0,014	0,5	0,028	0,82	- 8,46	2,22	-	25,00	2,950	1,438	65,0		
12. strat de protecție a hidroiz.	0,c1 0,01	0,15	0,066	1,95	- 10,41	1,98	0,020	0,50	0,053	1,385	73,5		
13. nisip	0,04	0,5	[illegible].080	2,36	- 12,77	1,46	0,022	1,82	0,210	1,275	80,5		
14. dala mozaic	0,03	1,0	0,030	0,87	- 13,64	1,41	0,08	0,37	0,043	1,132	80,5		
15. supraf ext.	-	-	0,050	1,46	- 15	1,24	-	0,10	0,012	-	90,0		
16. aer ext.		-	-	-	- 15	1,24	-	-		2,120	90,01		

Luînd în considerare fluxul maxim şi mediu la suprafeţe verticale, orientate spre est şi vest, din anexa XXIV rezultă:

$$Q_{max} - Q_{med} = 575 - 130 = 445 \ Kcal/m^2.h \ ; \ z = 7 \text{ şi } 17h$$

Pentru suprafeţe din beton, din anexa XXV se obţine $r = 0,65$ %.

Considerînd $\alpha_e = 10 \ Kcal/m^2 . h. ^oC$ (fără vînt), conform expresiei:

$$A_{e\ con} = (A_e + A_{ech}) \psi = (A_e + r \frac{I_{max} - I}{\alpha_e}) \psi$$

se obţine:

$$A_{ech} = \frac{0,65 \cdot 445}{10} = 28,9 \text{ grade}$$

Amplitudinea oscilaţiei temperaturii aerului exterior, pentru oraşul Ploieşti, de exemplu, corespunzător latitudinii de 45^o este:

$$A_t = 2 (27,7 - 21,8) = 2 \cdot 5,9 = 11,8 \text{ grade}$$

Deoarece:

$$\frac{A_{ech}}{A_e} = \frac{28,9}{11,9} = 2,4 \quad A_{e\,conv} = (28,9 + 11,8) 0,99 = 40,3^o$$

Caracteristicile termice ale straturilor peretelui (figura 129) sînt:

$$R_1 = \frac{0,095}{} = 0,079 m^2 h.grad/Kcal ; \ S_1 = 11,7 \ Kcal/m^2.h.grad \ ; \ D_1 = 0,079 \times 11,7 = 0,92$$

$$R_2 = \frac{0,002}{} = 0,013 m^2 h.grad/Kcal ; \ S_2 = 2,85 \ Kcal/m^2.h.grad \ ; \ D_2 = 0,013 \times 2,85 = 0,04$$

$$R_3 = \frac{0,075}{0,075} = 1,0 m^2 h.grad/Kcal ; \ S_3 = 1,15 \ Kcal/m^2.h.grad \ ; \ D_3 = 1,0 \times 1,15 = 1,15$$

$$R_4 = \frac{0,040}{1,40} = 0,028 m^2 h.grad/Kcal ; \ S_4 = 13,20 \ Kcal/m^2.h.grad ; \ D_4 = 0,028 \times 13,20 = 0,37$$

$$\Sigma D_K = \Sigma R_K S_K = 2,48$$

Neglijînd coeficientul de asimilare termică al stratului de carton asfaltat, se poate scrie:

$$S_1 = S_i = \frac{0{,}079 \times 11{,}7^2 + 7}{1 + 0{,}079 \times 7} = 11{,}4 \ Kcal/m^2.h.grad$$

$$S_2' = \frac{1{,}0 \times 1{,}15^2 + 11{,}4}{\qquad} = 1{,}02 \ Kcal/m^2.h.grad$$

$$S_3' = S_e = \frac{0{,}028 \times 13{,}2^2 + 1{,}02}{1 + 0{,}028 \times 1{,}02} = 5{,}7 \ Kcal/m^2.h.grad.$$

Coeficientul de amortizare a temperaturii în perete se calculează cu relaţia (108):

$$\nu = 0{,}9 e^{\frac{2{,}48}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(11{,}7+7)(2{,}85+11{,}4)(13{,}20+1{,}02)(10{,}00+5{,}7)}{(11{,}7+11{,}4)(2{,}85+1{,}02)(13{,}20+5{,}7)\cdot 10} =$$

$$= 0{,}9 \cdot 5{,}77 \cdot 0{,}80 \cdot 3{,}68 \cdot 0{,}74 \cdot 1{,}57 = 17{,}65 > 15$$

Amplitudinea oscilaţiei temperaturii suprafeţei interioare este:

$$A_{\tau_i} = \frac{40{,}3}{17{,}65} = \pm \ 2{,}3 \text{ grade}$$

Amplitudinea oscilaţiei temperaturii pe suprafaţa exterioară este:

$$A_{\tau_e} = \frac{35}{1{,}57} = 25{,}4 \text{ grade}$$

Temperatura maximă pe suprafaţa exterioară rezultă:

$$\tau_e = 25{,}4 + 21{,}8 = 47{,}2^\circ C$$

Măsurători efective realizate în condiţiile climatice din Iaşi, la aceste structuri de pereţi au prezentat valori peste 50° C.

Defazarea oscilaţiei temperaturii pe suprafaţa interioară a peretelui conform relaţiei 145 este:

$$\eta = \frac{1}{15}\left[40{,}5 \cdot 2{,}48 - arc\ tg' \frac{7}{7+11{,}4\sqrt{2}} + arc\ tg' \frac{5{,}7}{5{,}7+10\sqrt{2}}\right] = 6{,}5$$

Temperatura maximă a elementului de construcţie se obţine la ora: 15 + 6,5 = 21,5 h

H. Anexe

ANEXA I

Caracteristicile termofizice ale materialelor de construcţii

Nr. crt.	DENUMIREA MATERIALULUI	Densitatea aparentă ρ	Conductivitate termică λ		Coeficientul de asimilare termică S		Coeficientul de permeabilitate la vapori μ	Căldura specifică c	
		Kg/m.c.	W/m°C	Kcal/mhgrd	W/m²°C	Kcal/m²hgrd	g/mhmmHg	J/Kg°C	Kcal/Kggrd
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Plăci şi foi de azbociment	1900	0,35	0,30	6,32	5,45	0,0035	836,3	0,20
2.	Plăci termoizolatoare de azbociment	500 300	0,13 0,09	0,11 0,08	1,97 1,29	1,70 1,12	0,052 0,052	836,3 836,3	0,20 0,20
3.	Mortar asfaltic	1800	0,75	0,65	12,8	11,0	0,001	1672,64	0,40
4.	Beton asfaltic	2100	1,04	0,90	16,2	14,0	6,001	1672,64	0,40
5.	Beton armat	2600 2500 2400	2,03 1,74 1,62	1,75 1,50 1,40	17,86 16,24 15,31	15,4 14,0 13,2	0,004 0,004 0,004	836,3 836,3 836,3	0,20 0,20 0,20
6.	Beton simplu cu agregate de natură sedimentară şi amorfă, artificială (pietriş, tuf calcaros, deşeuri ceramice, diatomit)	2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000	1,39 1,16 0,95 0,75 0,58 0,46 0,37	1,20 1,00 0,80 0,65 0,50 0,40 0,32	13,57 11,60 9,86 8,35 6,96 5,68 4,64	11,7 10,0 8,5 7,2 6,0 4,9 4,0	0,0055 0,007 0,0010 0,012 0,018 0,020 0,022	836,3 836,3 836,3 836,3 836,3 836,3 836,3	0,20 0,20 0,20 0,20 0,20 0,20 0,20

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.	Beton cu zgură granulată	1800	0,64	0,55	8,35	7,20	0,011	836,3	0,20
		1600	0,58	0,50	7,48	6,45	0,012	836,3	0,20
		1200	0,46	0,40	5,80	5,00	0,014	836,3	0,20
8.	Beton cu zgură expandată	1600	0,53	0,50	7,48	6,45	–	836,3	0,20
		1400	0,46	0,40	6,26	5,40	–	836,3	0,20
		1200	0,41	0,35	5,43	4,68	–	836,3	0,20
9.	Beton cu argilă expandată sau granulit.	1800	0,81	0,70	9,40	8,10	0,012	836,3	0,20
		1400	0,58	0,56	9,34	8,05	0,013	836,3	0,20
		1200	0,46	0,40	5,80	5,00	0,014	836,3	0,20
		1000	0,35	0,30	4,58	3,95	0,018	836,3	0,20
		800	0,29	0,25	3,74	3,22	0,025	836,3	0,20
		600	0,23	0,20	2,90	2,50	0,035	836,3	0,20
		400	0,17	0,15	2,03	1,75	0,045	836,3	0,20
10.	Beton celular autoclavizat	1000	0,41	0,35	4,93	4,25	0,015	836,3	0,20
		900	0,35	0,30	4,35	3,75	0,016	836,3	0,20
		800	0,29	0,25	3,71	3,20	0,018	836,3	0,20
		750	0,27	0,23	3,48	3,00	0,019	836,3	0,20
		600	0,21	0,18	2,73	2,35	0,023	836,3	0,20
		550	0,20	0,17	2,55	2,20	0,024	836,3	0,20
		400	0,14	0,12	1,83	1,58	0,030	836,3	0,20
		300	0,13	0,11	1,51	1,30	0,035	836,3	0,20
11.	Vată minerală	200	0,07	0,06	0,87	0,75	0,065	752,6	18
12.	Vată de sticlă	100	0,06	0,05	0,56	0,48	0,065	752,6	18
13.	Pîslă minerală	250	0,08	0,065	0,99	0,85	0,060	752,6	18

Anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14.	Plăci semirigide de vată minerală	350 250	0,09 0,08	0,075 0,065	1,33 0,99	1,15 0,85	0,055 0,060	752,6 752,6	18 18
15.	Plăci rigide de vată minerală de calitate superioară	100	0,04	0,035	0,43	0,37	0,065	752,6	18
16.	Sticlă spongioasă	400 300	0,14 0,12	0,12 0,10	1,83 1,45	1,58 1,25	0,003 0,003	836,3 836,3	0,20 0,20
17.	Sticlă	2500	0,75	0,65	10,67	9,20	0,000	836,3	0,20
18.	Plăci din ipsos	1100	0,41	0,35	5,16	4,45	0,014	836,3	0,20
19.	Beton de ipsos cu zgură granulată	1000	0,37	0,32	4,64	4,00	0,020	836,3	0,20
20.	Umplutură din nisip uscat	1600	0,58	0,50	7,48	6,45	0,022	836,3	0,20
21.	Pămînt vegetal	1800	1,16	1,00	11,25	9,70	-	836,3	0,20
22.	Pin şi brad - perpendicular pe fibre	550	0,17	0,15	4,18	3,60	0,0002	2508,9	0,60
	- în lungul fibrelor	550	0,35	0,30	5,80	5,00	0,0430	2508,9	0,60
23.	Stejar şi fag - perpendicular pe fibre	800	0,23	0,20	5,80	5,00	0,0075	2508,9	0,60
	- în lungul fibrelor	800	0,41	0,35	7,66	6,60	0,0400	2508,9	0,60
24.	Placaj încleiat	600	0,17	0,15	4,35	3,75	0,003	2508,9	0,60

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
25.	Rumeguş	25o	o,09	o,08	2,03	1,75	o,035	2508,9	o,6o
26.	Stabilit cu ciment port-land	6oo 4oo 3oo	o,23 o,15 o,14	o,2o o,13 o,12	4,52 3,02 2,56	3,9o 2,6o 2,12	o,o14 o,035 o,o4o	2508,9 2508,9 2508,9	o,6o o,6o o,6o
21.	Beton cu agregate vegetale (talaj, rumeguş şi puzderie de cînepă)	1ooo 8oo 6oo	o,26 o,21 o,16	o,22 o,18 o,14	5,8o 4,76 3,65	5,oo 4,1o 3,15	o,o4o o,o4o o,o4o	2508,9 2508,9 2508,9	o,6o o,6o o,6o
22.	Plăci din fibre de lemn poroase.	6oo 4oo 2oo	o,16 o,12 o,07	o,14 o,1o o,06	4,18 2,9o 1,59	3,6o 2,5o 1,37	o,o25 o,o23 o,o32	2508,9 2508,9 2508,9	o,6o o,6o o,6o
23.	Plăci din fibre de lemn dure	7oo	o,21	o,18	5,16	4,45	o,o1o	2508,9	o,6o
24.	Plăci din aşchii de lemn aglomerate								
	– izolatoare	45o	o,09	o,075	1,65	1,42	o,o3o	2508,9	o,6o
	– stratificate	65o 55o	o,17 o,15	o,15 o,13	3,77 2,61	3,25 2,25	o,o12 o,o2o	2508,9 2508,9	o,6o o,6o
	– omogene pline	7oo 65o 5oo	o,22 o,18 o,14	o,19 o,16 o,12	3,28 2,9o 1,6o	2,83 2,5o 1,38	o,o1o o,o12 o,o25	2508,9 2508,9 2508,9	o,6o o,6o o,6o
	– omogene cu goluri	45o	o,13	o,11	1,99	1,72	o,o3o	2508,9	o,6o
25.	Zgură de cazan	1ooo 7oo	o,29 o,22	o,25 o,19	4,21 3,02	3,63 2,6o	o,o26 o,o29	836,3 836,3	o,2o o,2o
26.	Zgură granulată de furnal înalt, zgură expandată	9oo 5oo	o,26 o,16	o,22 o,14	3,71 2,2o	3,2o 1,9o	o,o27 o,o31	836,3 836,3	o,2o o,2o

Anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
26.	Argilă expandată, granulit	900 500 300	0,41 0,21 0,15	0,35 0,18 0,13	4,69 2,51 1,65	4,05 2,16 1,42	0,028 0,040 0,050	836,3 836,3 836,3	0,20 0,20 0,20
27.	Diatomit	700 500	0,21 0,17	0,18 0,15	3,97 2,29	2,56 1,97	– –	836,3 836,3	0,20 0,20
28.	Marmură, granit, bazalt	2800	3,48	3,00	25,40	21,90	0,0015	919,9	0,22
29.	Greste şi cuarţite	2400	2,03	1,75	17,98	15,50	0,005	919,9	0,22
30.	Pietre calcaroase	2000 1700	1,16 0,93	1,00 0,80	12,53 10,21	10,80 8,80	0,008 0,010	919,9 919,9	0,22 0,22
31.	Tuf calcaros	1300	0,52	0,45	6,73	5,80	0,020	919,9	0,22
32.	Zidărie din pietre de formă regulată, cu mortar greu, cu densitatea aparentă a pietrei de 2800 Kg/m³ 2000 Kg/m³ 1200 Kg/m³	 2680 1960 1260	 3,19 1,13 0,51	 2,75 0,97 0,44	 23,89 12,06 6,55	 20,60 10,40 5,65	 0,0028 0,0086 0,0175	 919,9 919,9 919,9	 0,22 0,22 0,22
33.	Zidărie de perete de formă neregulată cu mortar greu cu densitatea aparentă a pietrei: de: 2800 Kg/m³ 2000 Kg/m³ 1200 Kg/m³	 2420 1900 1380	 2,55 1,06 0,60	 2,20 0,91 0,52	 20,30 11,48 7,42	 17,50 9,90 6,40	 0,0055 0,0098 0,0162	 919,9 919,9 919,9	 0,22 0,22 0,22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34. Zidărie de cărămidă de argilă arsă	1800	0,81	0,70	9,63	8,30	0,014	878,1	0,21
35. Zidărie de cărămizi cu găuri verticale cu densitatea aparentă a cărămizilor de:								
1675 Kg/m^3	1700	0,75	0,65	8,99	7,75	0,016	878,1	0,21
1475 Kg/m^3	1550	0,70	0,60	8,24	7,10	0,017	878,1	0,21
1325 Kg/m^3	1450	0,64	0,55	7,66	6,60	0,018	878,1	0,21
1200 Kg/m^3	1350	0,58	0,50	7,02	6,05	0,019	878,1	0,21
1075 Kg/m^3	1250	0,55	0,45	6,21	5,35	0,020	878,1	0,21
950 Kg/m^3	1150	0,46	0,40	5,80	5,00	0,021	878,1	0,21
36. Zidărie din cărămizi de diatomit (= 1000 Kg/m^3)	1200	0,52	0,45	6,32	5,45	0,025	878,1	0,21
37. Zidărie din cărămizi de zgură (= 1400 Kg/m^3c)	1500	0,70	0,60	8,12	7,00	0,014	878,1	0,21
38. Zidărie din cărămizi silico-calcare	1900	0,99	0,85	10,61	9,15	0,014	878,1	0,21
39. Zidărie din blocuri mici pline din beton uşor sau de masă mijlocie cu agregate de natură sedimentară sau amorfă, cu densitatea aparentă a blocurilor şi zidăriei de:								
1980 Kg/m^3	2000	1,16	1,00	12,06	10,4	0,008	878,1	0,21
1800 Kg/m^3	1800	0,93	0,80	10,30	8,95	0,010	878,1	0,21
1620 Kg/m^3	1600	0,75	0,65	8,80	7,60	0,012	878,1	0,21

Anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1440 Kg/m^3 12 60 Kg/m^3 1080 Kg/m^3	1400 1200 1000	0,61 0,50 0,42	0,53 0,43 0,36	7,40 6,30 5,40	6,40 5,40 4,55	0,018 0,020 0,022	878,1 878,1 878,1	0,21 0,21 0,21
40.	Oţel de construcţie	7850	58	50	125,74	108,40	0	480,8	0,115
41.	Piese de fontă	7200	49,88	43	111,82	96,40	0	480,8	0,115
42.	Aluminiu	2600	220,40	190	140,94	121,50	0	480,8	0,115
43.	Stufit - presat manual - presat cu maşina	 250 400	 0,09 0,14	 0,08 0,12	 1,68 2,44	 1,45 2,10	 0,065 0,060	 1672,6 1672,6	 0,40 0,40
44.	Plăci de paie	1200	0,05	0,04	0,81	0,70	0,065	1672,6	0,40
45.	Ampora	20	0,05	0,04	0,31	0,27	0,075	1463,5	0,35
46.	Polistiren celular	20	0,04	0,035	0.29	0,25	0,008	1463,5	0,35
47.	Spume de policlorură de vinil	70 30	0,05 0,05	0,040 0,040	0,58 0,46	0,50 0,40	- -	1463,5 1463,5	0,35 0,35
48.	Poliuretan celular	30	0,04	0,035	0,70	0,60	-	1463,5	0,35
49.	Mortar de ciment sau tencuială din acesta	1800	0,93	0,80	10,03	8,65	0,012	836,3	0,20
50.	Mortar mixt (nisip - var - ciment) sau tencuială din acesta	1700	0,87	0,75	9,45	8,15	0,013	836,3	0,20

Anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
51.	Mortar de var sau tencuială din acesta	1600	0,70	0,60	8,18	7,05	0,016	836,3	0,20
52.	Tencuială din mortar de var pe trestie	1400	0,52	0,45	0,41	0,35	0,016	836,3	0,20
53.	Mortar de zgură	1400 1200	0,64 0,52	0,55 0,45	7,37 6,15	6,35 5,30	0,015 0,018	836,3 836,3	0,20 0,20
54.	Linoleum	1800 1600 1350 1100	0,38 0,32 0,23 0,18	0,33 0,28 0,20 0,16	8,53 7,42 5,80 4,64	7,35 6,40 5,00 4,00	0,0002 0,0002 0,0002 0,0002	1463,5 1463,5 1463,5 1463,5	0,35 0,35 0,35 0,35
55.	Carton	1000 700	0,23 0,17	0,20 0,15	4,93 3,60	4,25 3,10	- -	1463,5 1463,5	0,35 0,35
56.	Folii de policlorură de vinil	1200	0,17	0,15	5,34	4,60	0,0002	1463,5	0,35
57.	Pînză asfaltată, carton asfaltat, carton impregnat.	600	0,12	0,1	3,42	2,95			

Anexa II (tabelul 7)

A. Valorile coeficienţilor de schimb superficial de căldură

Felul suprafeţei şi sensul fluxului termic	Valorile coeficienţilor de schimb superficial de căldură $_i$ sau $_e$		Valorile rezistenţelor la schimb superficial de căldură R_i sau R_e	
	W/m^2 ^{o}C	Kcal/m^{2}h grd	m^2 ^{o}C/W	m^{2}h grd/ Kcal
- Suprafeţele interioare ale spaţiilor închise la o mişcare naturală a aerului:				
- pereţi exteriori şi interiori, ferestre exterioare şi interioare, pardoseli şi plafoane netede şi cu nervuri proeminente şi dese la fluxul de căldură de jos în sus.	6	7	o,123	o,143
- suprafeţe de încăperi (poduri, subsoluri ; viteza medie a aerului v = o,3 m/s)	9	1o	o,086	o,1oo
- pardoseli la fluxul de căldură de sus în jos, peste subsoluri	4	5	o,172	o,2oo
Suprafeţe exterioare în contact cu aerul exterior la pereţi exteriori, acoperişuri, terase, ferestre exterioare:				
- în timpul iernii	17	2o	o,043	o,05o
- în timpul verii	9	1o	o,086	o,1oo

B. (După literatura franceză)

Inclinarea pereţilor şi sensul fluxului termic	Unităţi	Pereţi exteriori			Pereţi interiori		
Pereţi verticali	$m^2 \cdot {}^oC/W$	o,11	o,o6	o,17	o,12	o,12	o,24
	$m^2 \cdot h \cdot {}^oC/Kcal$	o,13	o,o7	o,2o	o,14	o,14	o,28
Pereţi orizontali (flux ascendent)	$m^2 \cdot {}^oC/W$	o,o9	o,o5	o,14	o,1o	o,1o	o,2o
	$m^2 \cdot h \cdot {}^oC/Kcal$	o,11	o,o6	o,17	o,12	o,12	o,24
Elemente orizontale (terase)	$m^2 \cdot {}^oC/W$	o,17	o,o5	o,22	o,17	o,17	o,34
	$m^2 \cdot h \cdot {}^oC/Kcal$	o,2o	o,o6	o,26	o,2o	o,2o	o,4o

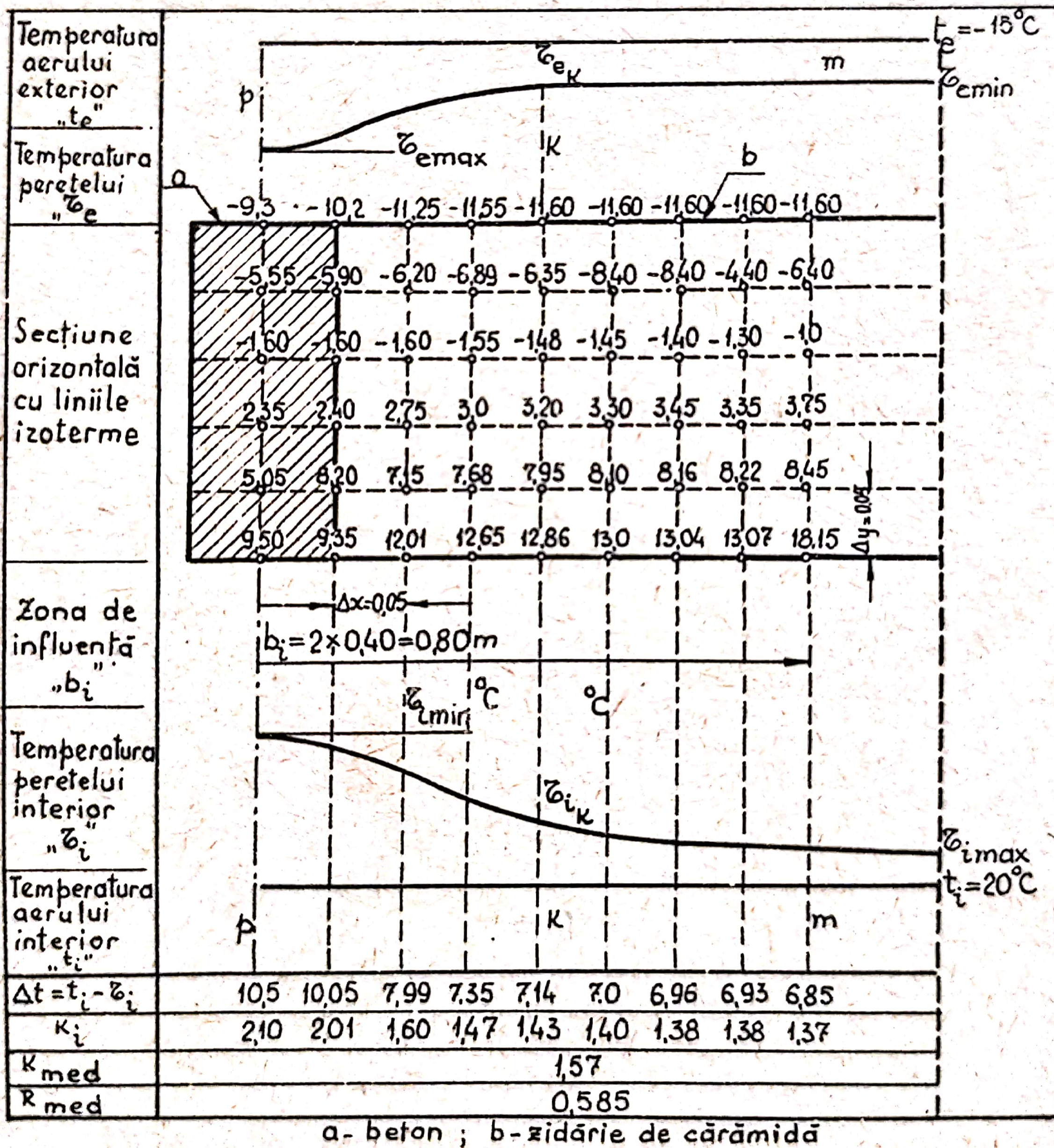
Anexa III

Rezistența la permeabilitatea termică a aerului

Poziția stratului de aer și direcția fluxului termic	Grosimea stratului de aer d mm	Valorile rezistențelor la permeabilitate termică ale straturilor de aer neventilate R	
		m^2 °C/W	m^2.h grd/Kcal
Strat de aer vertical	1o	o,14	o,16
	2o	o,16	o,19
	5o	o,18	o,21
	1oo	o,17	o,20
	15o	o,16	o,19
Strat de aer orizontal, la fluxul termic de jos în sus	1o	o,14	o,16
	2o	o,15	o,17
	5o	o,16	o,19
Strat de aer orizontal, la fluxul termic de sus în jos.	1o	o,15	o,17
	2o	o,17	o,20
	5o	o,18	o,21

ANEXA IV

Valorile temperaturilor la o punte curentă determinată prin modelare electrică



a- beton ; b- zidărie de cărămidă

ANEXA V

IMPARTIREA INDICATIVA A CLADIRILOR PE CATEGORII

A. Case de locuit şi clădiri publice.

1. Clădiri de locuit şi cele care se pot asimila acestora (cămine, internate etc.)

$$(t_i = 18 \ldots 20^\circ C, \varphi_i = 60 \%)$$

Case de locuit

Camere de copii, din gări şi din case de locuit

Grădinițe de copii

Spitale

Hoteluri

Cantine

Clădiri în stațiuni balneare

Ambulatorii

Farmacii

Centrale telefonice automate

Arhive

Biblioteci

Laboratoare (de tipul celor de la institutele de cercetări ştiinţifice)

Muzee

Cămine

Sanatorii

2. Clădiri publice(social-culturale, administrative, comerciale, etc.) şi încăperile cu regim umed şi foarte umed:

$$(t_i = 16 \ldots 18^\circ C ; \varphi_i = 50 \ldots 60\%)$$

Birouri şi încăperi administrative

Incăperi anexe în clădiri industriale, cu excepţia du-

șurilor

Gări, în afară de camera mamei și a copilului

Incăperi de poștă și telegraf

Incăperi comerciale

Cinematografe, teatre

Scoli

3. Clădiri cu regim de umiditate foarte ridicat în care se admite condensarea vaporilor.

$$(t_i = 25...30^0C ; \varphi_i > 75\%)$$

Băi de aburi

Băi cu dușuri

Secții de spălare ale spălătoriilor

B. Clădiri industriale.

4. Clădiri industriale cu degajări mici de căldură în regim normal de umiditate.

$$(t_i = 16^0C ; \varphi_i = 50...60\%)$$

Secții de distilare

Secții de încărcarea acumulatoarelor

Secții de beton celular

Secții de galvanoplastie

Secții de preparare a argilei

Secții de produse de ipsos și de ipsos cu zgură

Secții de produse de beton armat

Secții mecanice (60% din mașinile-unelte folosesc emulsie)

Vopsitorii cu vopsire prin pulverizare

Secții de vată minerală

Secții de finisare

Uzine de beton spongios și de material silico-calcar spongios

Secții de impregnare

Secții de decapare, zincare, cositorie și nichelare

Secții de filtrare a saramurii

Secții de beton precomprimat

5. Clădiri industriale cu degajări mici de căldură și regim scăzut de umiditate.

($t_i \leq +16^0C$; $\varphi_i < 49\%$)

Ateliere de reparații auto

Depouri pentru autocare

Laminoare

Fabrici de viscoză

Garaje de autovehicole

Tîmplării

Instalații de concasare și de ciuruire

Sculării

Instalații de calcinare

Fabrici de acizi

Uzine de montaj

Turnătorii

Vopsitorii (vopsire cu pensula)

Secții de mașini

Secții de construcții metalice

Ateliere mecanice și de reparații

Modelării

Instalații de pompare pentru apă rece

Secții pentru pregătirea celulozei

Secții pentru pregătirea viscozei

Secții pentru pregătirea soluțiilor de finisare

Ateliere pentru reparaţii de vagoane

Secţii de sudură

Depozite încălzite

Secţii de pompe şi rezervoare de sodă

Secţii de prelucrarea ţevilor

Fabrici de beton şi de mortare

Secţii de fabricarea ţevilor sudate electric

6. Clădiri industriale cu <u>degajări însemnate de căldură şi regim de umiditate scăzut.</u>

$$(t_i = +20^oC ; \varphi_i < 45 \%)$$

Secţii de bandaje

Bluminguri

Secţii de matriţare la cald

Laminoare de prelucrare la cald (pentru şine, profile mari, profile mijlocii, profile mici, sîrmă, tablă subţire, tablă de grosime mijlocie etc.)

Secţii de calibrare

Secţii pentru strunjirea roţilor

Fierării mijlocii şi mici

Secţii de presare la cald

Secţii de eclisare de cale ferată

Secţii de tratamente termice

7. Clădiri industriale cu regim de umiditate ridicat.

$$(t_i \leq 25^oC ; \varphi_i = 61... 75 \%)$$

Secţii pentru stingerea varului

Vopsitorii

Camera de condiţionare a mătasei

Secţii pentru răsucirea fibrelor

Secţii pentru rebobinarea fibrelor

Secţii de bobinare

Ţesătorii centrifuge

Secţii de războaie mecanice

Secţii de electroliză a zincului

Secţii de maşini pentru fabricarea hîrtiei

Cameră de aburire acidă a fibrelor

Pielării

C. <u>Categoria încăperilor unde nu se normează</u> $\Delta\tau_{imax}$

($t_i \leq 25°C$; $\varphi_i \leq 30\%$)

Secţii de cuptoare Bessemer şi de cuptoare Thomas

Depozite de blumuri , de bramuri şi de semifabricate calde

Săli de cazane la centrale termoelectrice

Depozite de materiale calde de la turnătorie

Secţii de cuptoare Martin

Secţii de răcire la turnătorie

Secţii de recoacere

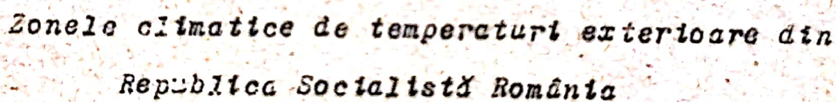
Secţii de cuptoare

Camere de sub furnale

Fabrici de sticlă

Secţii de lingouri

ANEXA VI



Zonele climatice de temperaturi exterioare din Republica Socialistă România

ANEXA VII (Tabelul 12)

Nr. crt.	Felul elementului exterior	Coeficientul n
0	1	2
1.	Pereţi exteriori, acoperişuri fără pod şi planşee peste ganguri, pardoseli de pămînt.	1,0
2.	Planşee de pod, pereţi exteriori şi acoperişuri cu straturi de aer ventilate, elemente de construcţie spre rosturi neizolate faţă de exterior.	0,9
3.	Elemente de construcţie (planşee şi pereţi) ale spaţiilor reci situate sub nivelul pămîntului sau peste nivelul pămîntului pînă la maximum 1 m, avînd ferestre sau găuri de ventilaţie.	0,5

ANEXA VII (urmare)

0	1	2
4.	Idem nr.crt.3, însă fără ferestre sau găuri de ventilaţie.	o,4
5.	Planşee peste spaţii reci situate deasupra nivelului pămîntului, cu soclu avînd $R_{oc} > 0{,}86$ mp.°C/W sau $R_{oc} > 1$ mp.h.grd/Kcal	o,4
6.	Idem nr.crt.5, cu soclu avînd $R_{oc} \leq 0{,}86$ mp.°C/W sau $R_{oc} \leq 1$mp.h grd/Kcal	o,75

ANEXA VIII

VALORILE COEFICIENTULUI DE MASIVITATE TERMICA „m" IN FUNCTIE DE CARACTERISTICA INERTIEI TERMICE D

Gradul de masivitate al elementelor de construcţii	Caracteristica inerţiei termice D	Coeficientul m
Mare	6,1... 7	o,9o
	5,1... 6	o,95
Mijlocie	4,1... 5	1,oo
	3,1... 4	1,o5
Mică	2,1... 3	1,1o
	1,1... 2	1,15
Foarte mică	≤1	1,2o

O b s e r v a ţ i i :

– Pentru planşeele masive şi uşoare deasupra subsolurilor şi pivniţelor reci: $m = 1{,}0$;

– Valorile coeficientului m se pot folosi prin interpolare.

ANEXA IX

VALORILE MAXIME ADMISE ALE DIFERENTEI DE TEMPERATURA

$\Delta\tau_{i\ max}$

Grupa de clădiri	Felul clădirilor şi încăperilor	Umiditatea relativă a aerului interior u_i %	Temperatura interioară t_i °C	Diferenţa de temperatură maximă admisă $\Delta\tau_{i\ max}$	
				pentru pereţi exteriori gradC	pentru acoperişuri terase grdC
1	2	3	4	5	6
I	Clădiri de locuit, încăperile clădirilor sociale cu necesităţi sanitar-higienice ridicate (spitale, grădiniţe de copii, creşe etc.)	<50 50..60	20..20 18..20	6	4,5
II	Incăperile clădirilor sociale cu regim de temperatură şi umiditate normal (teatre, cinematografe, auditorii, şcoli, cluburi şi încăperi anexe ale întreprinderilor, cu excepţia încăperilor cu regim umed şi foarte umed)	50..60	16..18	7	5,5
III	Incăperi încălzite ale clădirilor de producţie cu regim de umiditate normală şi cu degajări de căldură neînsemnate (hale mecanice)	50..60	16	8	7
IV	Idem, cu regim de umiditate scăzut (hale de sudat, de montaj, de mobile)	<50	16	10	8
V	Incăperile clădirilor de producţie cu degajări însemnate de căldură şi cu regim de umiditate scăzut (hale pentru prelucrări termice)	<45	20	12	12

ANEXA IX (urmare

1	2	3	4	5	6
VI	Incăperile clădirilor de producţie cu regim de umiditate ridicat(ţesătorii, filaturi)	61..75	16..25	$t_i - \tau_r$	$t_i - \tau_r$
VII	Idem, cu regim de umiditate foarte ridicat, unde se admite condensarea vaporilor pe suprafeţele interioare ale pereţilor (băi, duşuri publice, albitorii)	75 >75	16..30	6,5	$t_i - \tau_r$

ANEXA X (Tabelul 13)

Valorile coeficientului η_p

Schema	Valorile coeficientului η_p pentru raportul a/d :								
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5
I	0,12	0,24	0,38	0,55	0,75	0,83	0,87	0,90	0,95
II	0,07	0,15	0,26	0,42	0,62	0,75	0,81	0,85	0,94
III	0,25	0,30	0,96	1,26	1,27	1,21	1,16	1,10	1,00
IV	0,04	0,10	0,17	0,32	0,50	0,62	0,71	0,77	0,89

OBSERVATII:

- In cazul a/d > 1,5 puntea termică trebuie examinată ca parte independentă a elementului de construcţie, trebuind să aibă rezistenţa la transmisia căldurii R_{onec} corespunzătoare punctului 3.12.Această condiţie nu se referă la pereţii exteriori ai încăperilor care au o umiditate relativă a aerului interior mai mare de 75%.

- Pentru punţile termice cu profil compus, sînt necesare calcule speciale ale cîmpurilor de temperatură.

ANEXA XI

COEFICIENTUL DE AMORTIZARE A AMPLITUDINILOR VARIATIILOR DE TEMPERATURA ν)

Elemente separatoare de construcţie	Valori minime ν
Pereţi exteriori ai clădirilor de locuit şi comerciale pentru încăperi ocupate permanent de oameni:	
- pe timp de iarnă	10
- pe timp de vară	15
Pereţi exteriori ai clădirilor de birouri şi administrative:	
- pe timp de iarnă	10
- pe timp de vară	12
Planşee de acoperişuri calde peste încăperi locuite sau peste încăperi ocupate permanent	25
Planşee dalate de acoperiş (plăci uniforme ale acoperişurilor reci) ca şi înainte	15

N o t ă :

Valorile din tabelă nu sînt valabile pentru luminatoare. Coeficienţii de amortizare ale amplitudinilor variaţiei de temperatură pentru elementele despărţitoare de construcţii ale clădirilor de producţie sau industriale, se stabilesc după condiţii locale.

ANEXA XII

Valorile $U_1 .... U_n$

Stratul considerat şi condiţia pentru D_k	Relaţia de calcul pentru U_n
1	2
a) Stratul 1(interior)	
$D_1 > 1$	$U_1 = S_1$
$D_1 < 1$, însă $D_1 + D_2 > 1$	$U_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_2}$

1	2
$D_1 + D_2 < 1$, însă $D_1 + D_2 + D_3 > 1$. . .	$U_1 = \dfrac{R_1 \cdot S_2^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot U_2}$
$D_1 + D_2 + \ldots + D_{n-1} < 1$, însă $D_1 + D_2 + \ldots D_{n-1} + D_n > 1$	$U_{n-1} = \dfrac{R_{n-1} \cdot S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1} \cdot S_n}$
b) Stratul 2	
$D_2 > 1$	$U_2 = S_2$
$D_2 < 1$, însă $D_1 + D_2 < 1$	$U_2 = \dfrac{R_2 \cdot S_2^2 + S_3}{1 + R_2 \cdot S_3}$
$D_1 + D_2 < 1$, însă $D_2 + D_3 + D_4 > 1$	$U_2 = \dfrac{R_2 + S_2^2 + U_3}{1 + R_2 \cdot U_3}$
c) Stratul n (exterior)	
$D_n > 1$	$U_n = S_n$
$D_n < 1$	$U_n = \dfrac{R_n \cdot S_n^2 + \alpha_e}{1 + R_n \cdot \alpha_e}$

ANEXA XIII

VALORI MINIME ALE DEFAZAJULUI η A OSCILAȚIILOR TERMICE

Nr. crt.	Denumirea elementelor în construcție	Valorile minime η
1.	Acoperișuri la:	
	- Construcții de locuințe.........	10...... 12
	- Construcții de frigorifere......	12...... 14
2.	Pereți exteriori la construcții publice având orientarea :	
	- Vest, Sud - Vest................	8...... 10
	- Sud, Sud - Est..................	8
	- Est, Sud - Est, Sud - Vest......	6 7

ANEXA XIV

VALORILE U_{max} PENTRU AER

Temperatura aerului în °C	- 10	0	+ 10	+ 16	+ 20	+ 40
Valori $U_{max} = U_s$ în g/m^3	2,14	4,84	9,4	13,6	17,3	30,3

ANEXA XV

ELASTICITATEA MAXIMA E, IN mm Hg, A VAPORILOR DE APA, IN FUNCTIE DE TEMPERATURA t A AERULUI, IN °C.

Temperatura aerului t° C	Elasticitatea vaporilor de apă E mm col Hg	t °C	E mm col Hg	t °C	E mm col Hg	t °C	E mm col Hg
- 25	o,47	- 11	1,78	+ 3	5,69	+ 17	14,53
- 24	o,52	- 1o	1,95	+4	6,1o	+ 18	15,48
- 23	o,58	- 9	2,13	+ 5	6,54	+ 19	16,48
- 2 2	o,64	- 8	2,32	+ 6	7,o1	+ 2o	17,54
- 21	o,7o	- 7	2,53	+ 7	7,51	+ 21	18,65
- 2o	o,77	- 8	2,76	+ 8	8,o5	+ 22	19,83
- 19	o,85	- 5	3,o1	+ 9	8,61	+ 23	21,o7
- 18	o,94	- 4	3,28	+ 1o	9,21	+ 24	22,38
- 17	1,o3	- 3	3,57	+ 11	9,84	+ 25	23,76
- 16	1,13	- 2	3,88	+ 12	1o,52	+ 26	25,21
- 15	1,24	- 1	4,22	+ 13	11,23	+ 27	26,74
- 14	1,36	o	4,43	+ 14	11,99	+ 28	28,35
- 13	1,49	+ 1	4,93	+ 15	12,79	+ 29	3o,o4
- 12	1,63	+ 2	5,29	+ 16	13,63	+ 3o	31,84

ANEXA XVI

PRESIUNILE PARTIALE (ELASTICITATEA PARTIALA) ALE VAPORILOR DE APA, în mm col Hg. LA DIFERITE UMIDITATI ALE AERULUI

Temp. °C	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	80 %	90 %	95 %	100 %
+ 20	7,89	8,77	9,64	10,52	11,39	12,27	14,02	15,78	16,65	17,53
- 10	0,88	0,98	1,007	1,17	1,27	1,37	1,56	1,76	1,85	1,95
- 15	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,87	0,99	1,12	1,18	1,34
- 20	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,62	0,69	0,73	0,77

ANEXA XVII

UMIDITATEA HIGROSCOPICA (DE SORBTIE) A MATERIALELOR DE CONSTRUCTIE

Nr. crt.	Denumirea materialului	Densitatea aparentă în stare uscată Kg/m³	Temperatura de încercare în °C	Umiditatea higroscopică a materialelor, u, raportată în % din greutate în funcție de umiditatea relativă a aerului, în %.						
				40	50	60	70	80	90	100
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Argilă cu paie	1350	0	1,64	2,07	2,50	2,95	3,57	4,38	5,55
			35	1,34	1,69	2,05	2,51	3,12	3,93	5,10
			20	9,7	11,1	12,8	14,9	17,9	23,3	32,7
2.	Ampora	18	20	8,8	10,0	10,9	12,5	16,1	24,5	35,5
3.	Beton spumos	345	0-35	2,55	3,05	3,6	4,2	5,2	6,5	8,3
		660	20	2,0	2,6	2,85	3,6	4,75	6,2	10,0

ANEXA XVII (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		850	20	3,5	4,05	4,7	5,5	6,5	8,1	1,35
4.	Beton de zgură	–	35	1,03	1,25	1,48	1,73	2,03	2,53	3,43
5.	Cărămidă ceramică	1700	0–55	0,055	0, 07	0,10	0,16	0,245	0,365	0,53
6.	Cărămidă silico-calcară	1780	–	0,3	0,35	0,4	0,45	0,55	0,7	0,9
7.	Cărămidă diatomit	480	0–35	1,05	1,25	1,55	2,0	2,85	4,45	7,10
8.	Fibrolit	3,25	0–35	0,08	0,105	0,13	0,16	0,21	0,33	0,54
9.	Lemn	500	0	8,6	10,[illegible]	12,0	14,0	16,7	21,9	31,3
10.	Mortar ciment 1:4	1800	20 20	7,7 1,0	9,2 1,05	10,9 1,10	13,0 1,3	15,6 1,75	20,5 2,35	29,3 3,3
11.	Pîslă de construcţie	120 17	0 6,7	8,8 6,7	10,0 7,5	11,2 8,3	12,9 9,6	15,9 12,6	23,1 19,8	36,6 33,3
12.	Plăci fibrolemnoase	200	20	5,0	5,7	7,0	8,9	11,5	15,8	26,0
13.	Pîslă minerală	150	20	0,05	0,07	0,10	0,18	0,32	0,50	0,75
14.	Plută naturală	200	0 35	4,2 3,4	5,2 4,1	6,2 4,9	7,4 6,1	8,9 7,6	11,0 9,7	1,41 12,8
15.	Plăci semirigide de vată minerală	350	20	0,25	0,3	0,4	0,55	0,75	1,1	1,9
16.	Plăci de plută expandată	160	20	1,9	2,2	2,55	2,95	3,5	4,2	5,6
17.	Plăci de rumeguş cu bitum	320	20	5,0	5,7	7,0	9,5	13,0	18,2	30,0

ANEXA XVII (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1o
18.	Sticlă spongioasă	375	20	o,05	o,08	o,11	o,15	o,3	o,8	3,9
19.	Tuf	960	35	7,1	9,1	11,2	13,3	16,1	20,4	26,6
20.	Vată minerală	15o	20	o,08	o,o9	o,11	o,12	o,14	o,18	o,6o
21.	Zgură de cărbune	725	35	o,95	1,17	1,4o	1,65	1,97	2,4o	2,95

ANEXA XVIII

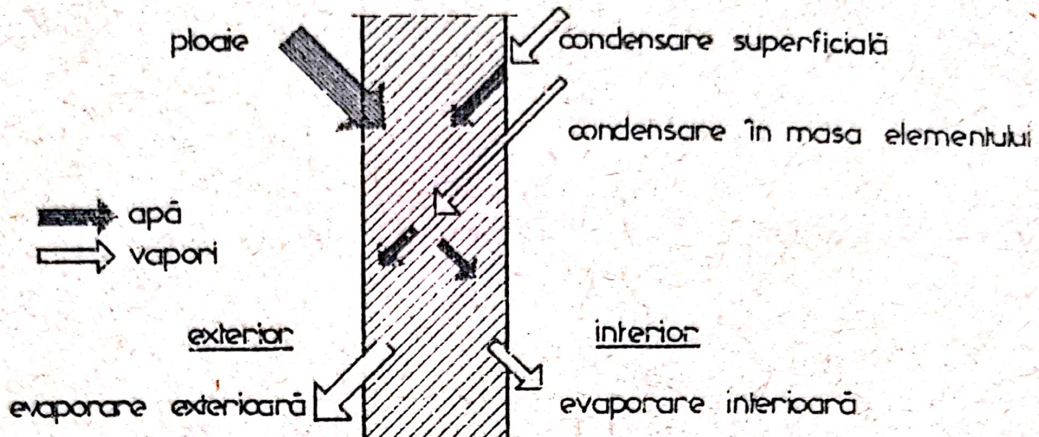
REZISTENTA LA PERMEABILITATE LA VAPORI PENTRU MATERIALE SI ELEMENTE DE CONSTRUCTII

Nr. crt.	Materialul de construcţie	Densitatea aparentă Kgf/m^3 φ	Permeabilitatea la vapori de apă δ în g/m.h.mmHg	Grosimea d cm	Rezistenţa la permeabilitate la vapori R_v m^{2}h mm Hg/g
0	1	2	3	4	5
1.	Cărămidă poroasă	1200 - 1400 -	o,o3o	6,5	2,2
2.	Cărămidă obişnuită	1700 - 1800 -	o,o2o	6,5 12,o 25,o 38,o	3,3 6,o 11,5 19,o
3.	Cărămizi arse dure	1800	o,o1o	12	12,o
4.	Cărămizi de Klinker	2ooo	o,o5o	12	24,o
5.	Cărămizi silico-calcare	19oo	o,oo6	12 25 38	19,o 4o,o 6o,o
6.	Tencuială cu mortar de var	17oo	o,o14	2	1,4o
7.	Tencuială de var ciment 1:4:8	19oo	o,oo9	2,5	2,75
8.	Tencuială de ciment 1:2, 1:3	21oo	o,oo5	2,5	5,o
9.	Grund de ciment	21oo	o,oo3	1,5	2,2o
1o.	Tencuială de ipsos	12oo	o,o16	2,o	1,25
11.	Beton celular	900-1000	o,o3o	3,o 5,o 7,5 1o,o	1,oo 1,7o 2,5o 3,3o
12.	Beton cu agregate ceramice	14oo-15oo	o,o25	1o,o	4,o
13.	Beton slab(1:8)	22oo	o,o15	5,o	3,3

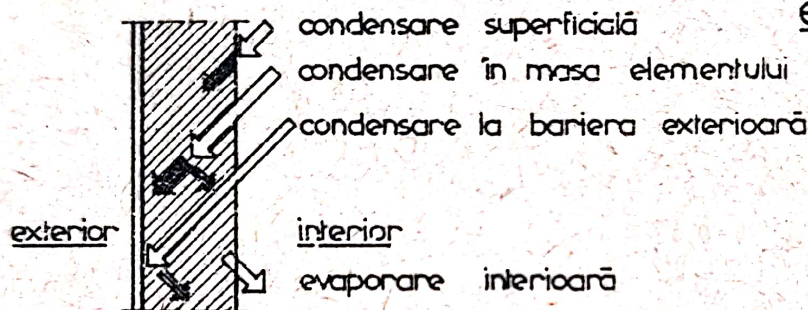
0	1	2	3	4	5
14.	Beton cu pietriș B 120	2200-2400	0,010-0,012	5,0	5,40
15.	Beton cu pietriș B 160	2200-2400	0,003-0,006	10,0	21,50
16.	Pardoseală de ciment	2100	0,003	2,0	7,8
17.	Lemn(pin, molid)	6,0	0,004	2,0	4,3
18.	Plăci dure de fibre	-	0,004	0,5	1,25
19.	Plăci din fibre lemnoase	-	0,013	1,0	0,8

ANEXA XIX

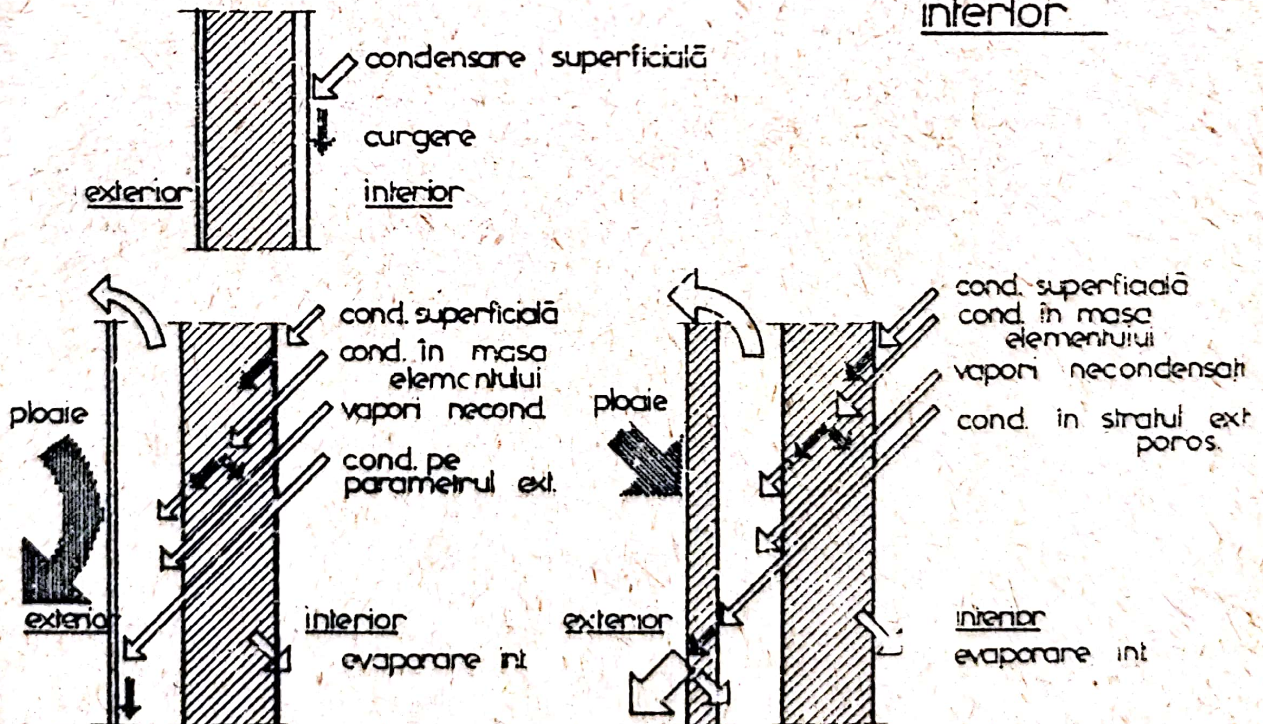
a. Structură omogenă



b. Structură cu barieră etanșă la exterior



c. Structură cu barieră etanșă la interior



d. Structură cu strat exterior etanș

e. Structură cu strat exterior poros

ANEXA XX

REZISTENTA LA PERMEABILITATE LA VAPORI R_v, în $m^2.h.mm\ Hg/g$, ALE UNOR MATERIALE DE CONSTRUCTIE, SUB FORMA DE STRATURI SUBTIRI SI FOI

Nr. crt.	Denumirea stratului	Grosime stratului mm	Valorile de calcul ale rezistenţei la permeabilitate la vapori R_v, în $m^2h\ mmHg/g$
1.	Strat de bitum aplicat la cald	-	2,0
2.	Peliculă de vopsea de ulei aplicată în două straturi, cu prealabilă grunduire şi şpăcluire	-	4,8
3.	Peliculă de email pe bază de alchidal	-	3,6
4.	Peliculă de email pe bază de copolimer vinilic, aplicat în două straturi	-	29,0
5.	Peliculă de email pe bază de clorcauciuc, aplicat în două straturi	-	26,0
6.	Strat de mastic de bitum	-	4,8
7.	Idem nr.crt.6, două straturi	-	8,1
8.	Folie de polietilenă	0,5	29,0
9.	Carton asfaltat	1...1,5	2,5
10.	Pînză asfaltată	2,5...3	8,3
11.	Hidroizolaţie alcătuită din două straturi de carton asfaltat, între trei straturi de bitum.	8	20,9
11.	Hidroizolaţie alcătuită din două două straturi de carton asfaltat, un strat de pînză asfaltată între patru straturi de bitum	12..14	29,2

OBSERVAŢIE. In cazul unor materiale ale căror valori R_v nu sînt indicate în anexa 1, valorile R_v se vor stabili pe cale experimentală.

ANEXA XXI

GREUTATEA SPECIFICĂ A AERULUI LA PRESIUNEA DE 760 torr

Temperatura °C t	Greutatea specifică Kgf/m³ ρ	Temperatura °C t	Greutatea specifică Kgf/m³ ρ	Temperatura °C t	Greutatea specifică Kgf/m³ ρ	Temperatura °C t	Greutatea specifică Kgf/m³ ρ
- 20	1,396	- 6	1,322	8	1,256	22	1,197
- 19	1,394	- 5	1,317	9	1,252	23	1,193
- 18	1,385	- 4	1,312	10	1,248	24	1,189
- 17	1,379	- 3	1,308	11	1,243	25	1,185
- 16	1,374	- 2	1,103	12	1,239	26	1,181
- 15	1,368	- 1	1,298	13	1,235	27	1,177
- 14	1,363	0	1,293	14	1,230	28	1,173
- 13	1,358	1	1,288	15	1,226	29	1,169
- 12	1,353	2	1,284	16	1,222	30	1,165
- 11	1,348	3	1,279	17	1,217	31	1,161
- 10	1,342	4	1,275	18	1,213	32	1,157
- 9	1,337	5	1,270	19	1,209	33	1,154
- 8	1,332	6	1,265	20	1,205	34	1,150
- 7	1,327	7	1,261	21	1,201	35	1,146

ANEXA XXII

REZISTENTA MATERIALELOR ŞI A ELEMENTELOR DE CONSTRUCTIE LA PERMEABILITATE LA AER, în $m^2.h.mm\ H_2O/Kg$

Nr. crt.	Denumirea materialului sau elementul de construcţie	Grosimea mm	Rezistenţa la permeabilitate la aer R_a $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg
1.	Asterială din scînduri dispuse alăturat	25 - 30	0,005
2.	Asterială din scînduri geluite aşezate alăturat sau îmbinate în falţ........................	20 - 25	0,01
	Idem, îmbinate în nut şi feder.	20 - 25	0,15
3.	Asterială cu strat intermediar de carton asfaltat............	50	10,0
4.	Asterială din stabilit, din plăci fibrolemnoase izolatoare:		
	- cu rostuire..............	15 - 70	0,25
	- fără rostuire............	15 - 70	0,05
5.	Asterială din plăci fibrolemnoase dure cu rostuire........	10	3,4
6.	Beton obişnuit fără rosturi...	100	2000,0
7.	Beton spumos autoclavizat, fără rosturi sau cu rosturile umplute cu mortar.............	100	200,0
8.	Idem, beton spumos neautoclavizat	100	20,0
9.	Beton cu zgură fără rosturi...	100	1,4
10.	Calcar cochilifer.............	500	0,6
11.	Carton asfaltat(fără rosturi).	1,3	6,5
12.	Carton asfaltat...............	1,5	50,0
13.	Hîrtie de ziar sau tapet cu rosturile lipite...............	-	2,0
14.	Pardoseală de xilolit.........	25	185,0
15.	Plăci de ipsos cu rosturi.....	10	2,0

ANEXA XXII (urmare)

Nr. crt.	Denumirea materialului sau elementul de construcție	Grosimea mm	Rezistența la permeabilitate la aer R_a $m^2.h.mm$ col H_2O/Kg
16.	Ipsos spumos.................	100	4,0
17.	Plăci rigide de vată minerală	50	0,2
18.	Placaj de lemn fără rosturi..	3..4	300,0
19.	Tencuială de argilă, executată, îngrijit................	5,7	0,7
20.	Tencuială pe zidării de cărămidă sau piatră, - de ciment............ - de var..............	 15 15	 38,0 14,5
21.	Tencuială de var și ipsos pe șipci (de lemn).............	20	1,7
22.	Zidărie de cărămidă cu mortar ciment-var cu grosimea: - peste o cărămidă..... - sub o cărămidă.......	 > 240 ≤ 240	 1,8 0,2
23.	Zidărie de cărămidă cu grosimea de 1½. Cărămizi cu mortar de ciment-var................	-	0,9
24.	Zidărie din blocuri de beton cu zgură cu mortar de ciment-var	400	1,3
25.	Zid de grinzi sau bîrne cioplite cu rosturi umplute....	-	4,0

ANEXA XXIII

Rezistența termică minimă (1/K) pentru clădiri de locuit, în funcție de t_e de calcul, se ia :

Elemente de construcții	Temp. ± 0	ext. - 5	de calcul - 10	t_e - 15	°C - 20
1. Pereți exteriori	0,31	0,58	0,70	0,80	0,92
2. Acoperișuri	0,67	0,83	1,00	1,17	1,33

Rezistența termică minimă (1/ Λ = R) pentru clădiri de locuit, în funcție de temperatură exterioară de calcul, t_e

Elemente de construcții	Temp. ± 0	ext. - 5	de calcul - 10	t_e - 15	°C - 20
1. Pereți exteriori	0,15	0,40	0,50	0,60	0,70
2. Acoperișuri	0,45	0,65	0,80	1,00	1,15

Rezistența termică minimă pentru a obține, temperatura τ_i = 16,5 °C pe suprafața interioară a pereților exteriori

Rezistența termică	Temp. ± 0	de iarnă - 5	- 10	de calcul - 15	- 20
- Rezistența termică totală, 1/K	0,85	1,05	1,40	1,50	1,70
- Rezistența termică la transmisia prin conducție	0,65	0,85	1,10	1,30	1,50

După DIN 4108 - Rezistența termică minimă $\frac{1}{\Lambda}$ în funcție de masă se ia:

Masa în Kg/m³	20	30	50	100	150	200	300
$R_{min} = \frac{1}{\Lambda}$	1,85	1,65	1,40	0,95	0,65	0,60	0,55

ANEXA XXIV

Fluxul specific mediu I şi maxim I_{max} al radiaţiei solare în 24 h (Kcal/m^2.h) şi ora Z de maximum al radiaţiei solare.

Suprafeţele şi orientarea lor	Valorile I, I_{max}, Z pentru latitudinea geografică	35°	40°	45°
Orizontală	I	285	265	250
	I_{max}	835	760	690
	Z	12	12	12
Verticală, orientată spre sud	I	50	95	125
	I_{max}	215	350	460
	Z	12	12	12
Verticală orientată spre sud-est şi sud-vest	I	90	125	145
	I_{max}	410	480	535
	Z	9 şi 10	9 şi 15	9 şi 15
Verticală, orientată spre est şi spre vest	I	115	125	130
	I_{max}	590	580	575
	Z	8 şi 16	8 şi 16	7 şi 17

ANEXA XXV

Coeficientul de absorbţie a radiaţiei solare de către diverse materiale de finisaj exterior

Denumirea materialelor de finisaj exterior al elementelor exterioare	r %
Materiale pentru acoperiş	
Foi de azbociment	0,65
Foaie zincată de acoperiş	0,65
Carton asfaltat	0,88
Carton asfaltat presărat cu nisip	0,65
Tablă vopsită în culori deschise	0,45
Idem, în culori închise	0,81
Olane vopsite în culori deschise	0,60

ANEXA XXV

Denumirea materialelor de finisaj exterior al elementelor exterioare	r %
Materiale pentru pereţi	
Granit	o,55
Blocuri de beton	o,65
Cărămidă glazurată în culoare crem	o,35
Cărămidă obişnuită	o,65
Cărămidă silicioasă	o,35
Tencuială exterioară deschisă	o,4o

BIBLIOGRAFIE

(Capitolul Higrotermica)

1. B E R T H I E R J. - Les points thermiques ou ponts thermiques. C.C.S.T.B nr. 42/334, 1960, Paris.

2. B O N H O M M E A. - L'isolation thermique, Paris, 1967

3. B R U C K M A Y E R FR. - Der Praktische Wärme - und Schallschutz im Hochbau, 1948, Wien.

4. C R O I S E T M. - L'hygrothermique dans le bâtiment, Paris, 1968.

5. E I C H L E R FR. - Praktische Wärme im Hochbau. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1964.

6. E I C H L E R FR. - Căldura şi vaporii de apă în clădiri (traducere din limba germană). Editura tehnică, 1957, Bucureşti.

7. E I C H L E R RF. - Studiu practic asupra izolării termice a clădirilor (trad. din limba germană), I.D.T. Bucureşti

8. F O C S A V., R A D U A., V E R E S A. - Consideraţii privind izolarea termică a clădirilor de locuit cu pereţi neomogeni. Rev. Construcţiilor şi a materialelor de construcţii, nr. 10/1962, Bucureşti.

9. F O C S A V., R A D U A., V E R E S A. - Studiul izolării termice a clădirilor de locuit cu pereţi din zidărie eficientă prin analogie electrică, Bul. I.P. Iaşi Tom. VIII(XII), Fasc. 3 - 4, 1962, Iaşi

10. F O C S A V., R A D U A. - Indrumător pentru lucrări de laborator la Clădiri Civile şi Industriale. Editura didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1967.

11. F O C S A V., R A D U A., V E R E S A. - Studiul termic al elementelor de construcţie prin analogie electrică, Bul. INCERC ISCAS, 4/1962, Bucureşti.

12. F O C S A V. - Rezistența termică, amortizarea și defazajul oscilațiilor termice ale pereților, determinate prin analogie electrică. Lucrare de doctorat, Cluj 1967.

13. F O K I N K.V. - Stroitelnaia teplotehnika obrajdaiuscih clastei zdanii. Cos. ind. po stroitelstvo i arhitectura, 1954, Moskva.

14. G E O R G E S C U ST., D I M I T R I U - V I L C E A, B O C A N C E A A. - Izolarea termică a clădirilor, Editura tehnică, București, 1961.

15. G O L E A N D N.M. - Calcul și încercarea izolației termice. Trad. din limba rusă, Ed. Tehnică, 1963, București.

16. G E O R G E S C U ST. - O entări noi în problema izolației termice termice a elementelor de construcție. Revista construcțiilor și a materialelor de construcții. Nr. 10/1962, București

17. G L A S E R H. - Grafische Verfahren zur Untersuchung von Diffusion - vorgängen. Kältetechnik, 10, 1959.

18. K L E B E R K. - Bauphysik. V.E.B. Verlag für Bauwsen, Berlin, 1963.

19. I A C O B M. - Heattransfer, New York,, 1950.

20. L E R O U X R. - Notions sur la thermique avec le régime variable. Revue Izolations et Revêtements. Nr. 36/1962, Paris.

21. N A S H D.G., C O R I E J., B R O U G H T O N - Thermal insulation of buildings, 1956, London.

22. N E G O I T A A. - Materiale moderne în construcții, Ed. Tehnică, 1960, București.

23. N E G O I T A A., D I M I T R I U - V I L C E A E., R A D U L E S C U A. - Pereți exteriori din materiale noi eficiente termic, pentru clădiri de locuit. Revista construcțiilor și a materialelor de construcții. Nr. VII/1960, București.

24. R A D U A., - Contribuții la dezvoltarea unor metode analogice și experimentale de cercetare a regimului higrotermic în construcții, teză, Cluj, 1969.

25. S K L O V E R A.M., V A S I L E V B.F., U S K O V F.V. - Osnovi stroitelnoi teplotehniki jilih i obşcestvenih zdanii, Gos. izd.liter. po stroit. i arh. Moskva, 1956.

26. S U F R I M I., S A X O N E A., S T O I C A - Izolaţiile în construcţii. Ed.Tehnică, 1956, 1956, Bucureşti.

27. x x x - Regimul confortabil de temperatură şi structura clădirii. The Arhitectural Review, nr.11/1961.

28. R.E.E.F. 58 - Recueil des éléments utiles à l'établissement et à l'exécution des projets et marchés de bâtiments en France. Vol.II, Sciences du Bâtiment, section D.

29. STAS E 5995/58 - Propagarea căldurii. Terminologie şi simboluri.

30. S T A S 6472/68 - Termotehnica în construcţii. Principii fundamentale de proiectare.

31. V A R L A N E. - L'étanchéité dans la construction, Eyrolles, Paris, 1964.

Capitolul II

ACUSTICA CLADIRILOR

1. Generalităţi.

Preocupările privind acustica clădirilor datează din timpuri străvechi. Civilizaţia antică se preocupa de construcţii de teatre şi temple unde s-au aplicat principii de acustică valabile şi în timpurile moderne. In arhitectura antică preocupările de acustică se refereau în special la construcţiile în aer liber (amfiteatre). Acustica spaţiilor închise (încăperilor) este o preocupare relativ recentă. Primele relaţii fundamentate ştiinţific, privind acustica clădirilor, au fost precizate de către Sabine, la începutul secolului nostru. El a stabilit ecuaţiile care leagă volumul şi absorbţia acustică a încăperii de durata de reverberaţie, punînd bazele metodei geometrico-statistice cu valabilitate actuală în acustica construcţiilor. Metoda geometrică este completată în prezent cu metoda cîmpului sonor studiat cu ajutorul ecuaţiei undelor.

Problemele de acustica clădirilor trebuie analizate sub două aspecte distincte:

- studiul sunetului ca factor nociv (zgomot) în construcţii şi măsuri de protecţie sau de izolare fonică şi de combatere a zgomotului ;
- studiul asigurării condiţiilor pentru o bună audiţie în săli, auditorii etc., constituind acustica încăperilor.

In ţara noastră s-au obţinut realizări valoroase din punct de vedere acustic, de exemplu: Casa radiodifuziunii, Centrul cinematografiei de la Buftea, Sala Palatului R.S.România, cinematografe, săli de cultură etc.Dezvoltarea construcţiilor

culturale în viitor implică o largă și aprofundată cunoaștere a principiilor de acustică arhitecturală, iar cerințele de confort acustic la locuințe și la locurile de muncă implică măsuri eficiente de izolare fonică.

Izolarea acustică intervine la clădirile de locuit și social-culturale, la construcțiile industriale și în spațiile de circulație urbană, în exteriorul și interiorul construcțiilor. Preocupările științifice privind izolarea fonică a clădirilor și asigurarea condițiilor optime pentru audiția cuvîntului și a muzicii în încăperi și săli sînt condiționate de cunoașterea sunetului ca fenomen fizic și fiziologic.

Necesitatea actuală a măsurilor constructive pentru izolarea acustică a clădirilor rezultă din următoarele cauze:

- creșterea considerabilă, în ultimii ani, a surselor de zgomot;
- creșterea zgomotului datorită mijloacelor noi de circulație și a intensității circulației pe stradă;
- creșterea zgomotului industrial datorită dezvoltării industriilor și a instalațiilor industriale;
- dezvoltarea traficului aerian etc.

Abordarea măsurilor de protecție acustică în aceste condiții, este necesară avînd în vedere numeroase tulburări de natură nervoasă, a bolilor de inimă și cardiovasculare și alte efecte fiziologice vătămătoare la care este supus omul modern.

Acțiunea vătămătoare a zgomotelor se manifestă prin aceea că vibrațiile sonore se transmit asupra creierului și de aici asupra întregului sistem neurovegetativ, putînd crea astfel un dezechilibru al organismului, insomnii, nevroze, boli digestive, boli de inimă etc.

Lehman stabilește următoarele valori ale nivelului fo-

nic funcție de efectele pe care le produce zgomotul:

- între 30...60 dB_A	efect mai ales psihic ;
- între 65...90 dB_A	efect psihic și vegetativ (aici intră cea mai mare parte a zgomotului de circulație) ;
- între 90...120 dB_A	efect psihic, vegetativ și otologic ;
- la 120 dB_A	după scurt timp apare surzenia remanentă.

Necesitatea unor măsuri de protecție acustică se impune și datorită tendințelor actuale privind folosirea noilor materiale de construcție și a alcătuirii elementelor de construcție și a construcțiilor. Tendința micșorării grosimii elementelor de construcție și înlocuirea elementelor masive cu elemente ușoare implică măsuri de izolare acustică a tuturor construcțiilor noi, în special în domeniul frecvențelor joase. Realizarea confortului la noile construcții este indisolubil legată de măsuri constructive eficiente privind protecția și combaterea zgomotului pe căi multiple (la sursă, la transmisie, prin absorbție, etc.)

2. Noțiuni de Acustică.

2.1. Sunetul ca fenomen fizic.

Sunetul poate fi privit în două accepțiuni:

- fizic, ca fenomen obiectiv, prin care se înțelege vibrația particulelor de aer, capabilă de a produce senzația auditivă ;

- fiziologic, ca fenomen subiectiv, prin care se înțelege senzația recepționată și localizată de organele auditive.

Sunetul fizic este produs de vibrația corpurilor solide, care transmisă aerului înconjurător ajunge la urechea omenească dînd senzația sonoră.

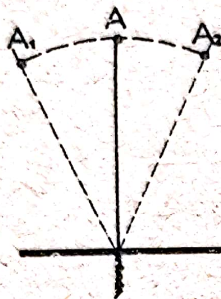


Fig.130. Vibrația lamei elastice

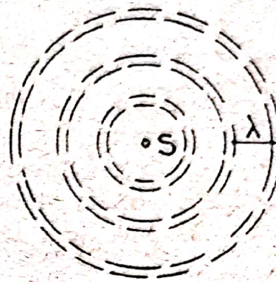


Fig.131. Presiunea și destinderea aerului.

Exemplul clasic de vibrație este prezentat de lama elastică încastrată la o extremitate și liberă la cealaltă (fig. 130) și care se deplasează cu o viteză constantă, trecînd periodic prin poziția inițială de repaus (A).

Propagarea sunetelor prin aer se realizează prin unde sonore, iar în solide prin unde elastice. Distanțele dintre două maxime de presiune succesive pe direcția de propagare caracterizează lungimea de undă, care pentru sunete este de 3 x 1o 20 m.

Asupra aerului, vibrația mecanică exercită presiuni și destinderi, ce fac ca moleculele aerului să vibreze în jurul unei poziții de echilibru (fig.131). In zonele de presiune moleculele se apropie unele de altele, iar în zonele de depresiune ele se depărtează. Ceea ce s-a arătat pentru aer este valabil și pentru apă și corpuri solide, în general pentru orice material. Sunetul este deci oscilația moleculelor materiale în jurul pozițiilor de echilibru.

Propagarea energiei sonore prin unde elastice este datorată mişcării din aproape în aproape a particulelor materiale, prin deplasare transversală sau longitudinală pe direcţia de înaintare a oscilaţiei prin comprimări şi dilatări a particulelor materiale, fig.132.

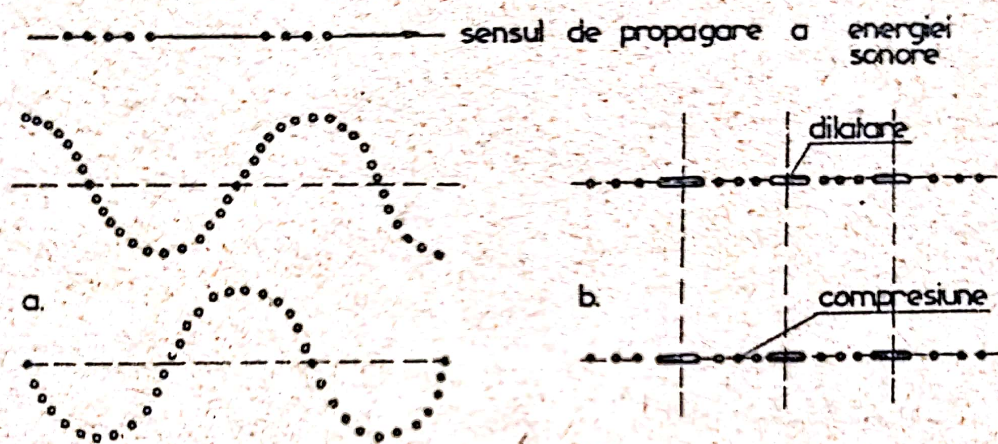


Fig.132. Propagarea sunetului prin unde elastice: a) unde transversale; b) unde longitudinale.

Modificările de presiune ale mediului elastic de propagare a sunetului definesc presiunile sonore p. In aer aceste presiuni sonore pot fi mai mari sau mai mici decît presiunile aerului liniştit p_o , adică $p \gtrless p_o$.

Sursa sonoră se consideră punctiformă, iar forma undelor sonore, sferică. La distanţe mari faţă de sursă undele sferice pot fi considerate plane.

Mişcarea extremităţii libere a lamei poate fi exprimată printr-o curbă sinusoidală, fig.133, în cazul vibraţiei întreţinute avînd expresia:

$$x = a \sin(2\pi\nu t + \beta) = a \sin(\omega t + \beta) \qquad (255)$$

în care:

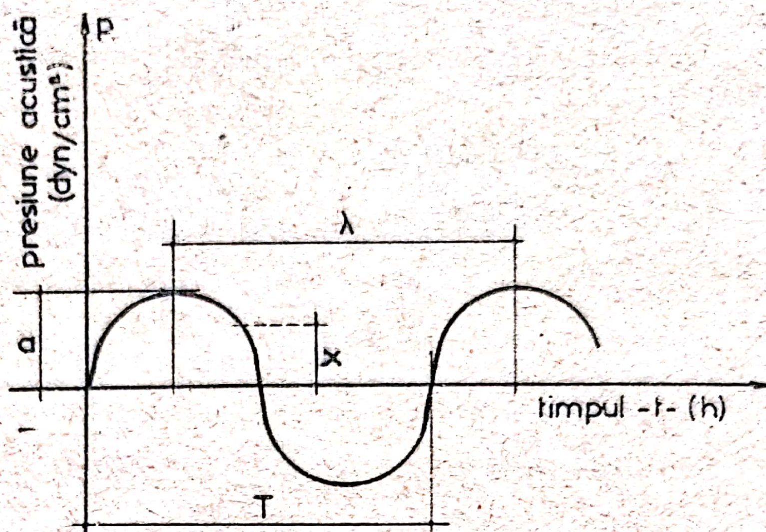


Fig.133. Exprimare sinusoidală a sunetului pur întreţinut

- x , presiunea sonoră exercitată de sursa sonoră asupra aerului, în dyne/cm^2 ;

- a , amplitudinea, ce caracterizează cea mai mare deplasare a capătului liber a lamei faţă de poziţia de repaus şi reprezintă presiunea maximă exercitată asupra aerului ;

- t , timpul, în s ;

- ν , frecvenţa definită de numărul de vibraţii produse în unitatea de timp, măsurată în Hz (hertz), cicli pe secundă ;

- T , perioada sau ciclul, adică timpul necesar unei vibraţii pentru a reveni la poziţia de repaus trecînd succesiv prin două maxime de sens contrar ;

- ω, pulsaţia oscilaţiei sonore, egală cu $2\pi\cdot\nu = \frac{2\pi}{T}$

- β, faza iniţială

Expresia vitezei oscilaţiei este:

$$v = \frac{dx}{dt} = a\omega\cos(\omega t + \beta) \qquad (256)$$

Accelerația mișcării rezultă:

$$\gamma = \frac{d^2x}{dt^2} = -a\omega^2 \sin(\omega t + \beta) = -\omega^2 x \qquad (257)$$

Viteza oscilației sonore variază cu natura mediului prin care se propagă sunetul, pentru solide prezentîndu-se astfel sub forma:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (258)$$

în care:

- E, modulul de elasticitate al aerului, în $g/cm.s^2$;
- ρ, densitatea aparentă a mediului, în g/cm^3.

Viteza undei sonore în aer și gaze se exprimă cu relația

$$C = \nu\sqrt{\gamma_0 \cdot \frac{p}{\rho}} \qquad (259)$$

în care:

- ν, frecvența sunetului, în Hz;
- γ_0, raportul dintre căldura specifică la presiune constantă și volum constant a mediului de propagare, la aer $\gamma_0 = 1,41$;
- ρ, densitatea mediului în g/cm^3;
- p, presiunea statică în dyn/cm^2.

Produsul $\rho \cdot c$ este rezistența specifică acustică a mediului (g/cm^2) sau impedanța acustică și prezintă valoarea 43 pentru aer.

Pentru lichide expresia vitezei sunetului este:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}} \qquad (260)$$

în care β este coeficient de compresibilitate.

In solide viteza sunetului mai poate fi exprimată cu relația:

$$C = \sqrt{\frac{E}{2\rho(\mu-1)}} \qquad (261)$$

în care:

- E, modulul lui Young, în $g/cm.s^2$;
- μ, coeficientul lui Poisson.

In tabelul 12 se prezintă valorile sunetului prin diferite medii.

Tabelul 12

Viteza sunetului în diferite medii

Nr. crt.	Materialul	Viteza sunetului c, în m/s
1	aer	340
2.	apă	1450
3.	oţel	5000
4.	lemn	1000 - 4000
5.	cauciuc	50
6.	zidărie	3652
7.	aluminiu	5104
8.	sticlă	5190

In aer viteza sunetului variază cu temperatura şi umiditatea. Undele sonore nu se propagă în vid, ele presupun un mediu de propagare (gazos, lichid, solid). Materialele compacte (betonul, fierul, pămîntul) propagă bine sunetele. Materialele poroase (vata, pîsla, ţesăturile) absorb sunetele şi se opun la trecerea lor, de aceea se folosesc la izolări acustice. absorbţia sunetelor se explică prin transformarea energiei acustice în căldură.

Intre frecvenţa (ν), lungime de undă (λ), viteza (c), şi perioada (T) a oscilaţiei sonore există relaţiile:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad ; \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad ; \quad \lambda = c.T \qquad (262)$$

Sunetul pur, caracterizat printr-o anumită frecvenţă şi presiune poate fi obţinut cu ajutorul unui aparat numit generator de ton, (fig.133). Pentru măsurători acustice în construcţii se folosesc generatoare special construite care emit sunete albe şi sunete vobulate.

2.1.1. Relaţia între elongaţia punctului material (x) şi distanţa (s) pe axa de propagare a oscilaţiei sonore.

O caracteristică de bază a sunetului este viteza sa, notată cu C, exprimată în cm/s şi care caracterizează mişcarea oscilatorie transmisă printr-un mediu.

Considerînd expresia elongaţiei „x" a mişcării oscilatorii a unui punct material M, sub forma $x = a \sin(\omega t + \beta)$ situat pe axa de propagare a oscilaţiei, (fig.134), în care mişcarea propagată cu viteza C, este în fază cu oscilaţia din origine, după timpul t, se poate scrie : $s = C.t'$ sau $t' = \frac{s}{c}$



Fig.134. Relaţia între elongaţie „x" şi distanţa „s" de propagare a mişcării oscilatorii.

Luînd $\beta = 0$, elongaţia punctului M este:

$$x = a \sin(\omega t - \omega t') \qquad (263)$$

Deoarece $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $t' = \frac{s}{c}$, $\lambda = CT$, expresia elongaţiei rezultă:

$$x = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{s}{c}\right) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot s\right) \qquad (264)$$

Făcînd notaţia $\frac{2\pi}{\lambda} = k$, se obţine:

$$x = a \sin(\omega t - ks) \qquad (265)$$

Scriem expresiile derivatelor parţiale de ordinul 1 şi 2 în raport cu t şi s :

$$\frac{\partial x}{\partial t} = a\omega \cos(\omega t - Ks) \qquad \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -a\omega^2 \sin(\omega t - Ks) = -\omega^2 x \qquad (266)$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} = -aK \cos(\omega t - Ks) \qquad \frac{\partial^2 x}{\partial s^2} = -aK^2 (\omega t - Ks) = K^2 x$$

Din relaţiile de mai sus,rezultă egalitatea expresiilor lui x :

$$x = -\frac{1}{\omega^2}\cdot\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{1}{K^2}\cdot\frac{\partial^2 x}{\partial s^2} \text{ şi deci } \frac{1}{\omega^2}\cdot\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{1}{K^2}\cdot\frac{\partial^2 x}{\partial s^2} \qquad (267)$$

Inlocuind expresiile lui ω şi K în relaţiile de mai sus se obţine ecuaţia elongaţiei cîmpului sonor unidirecţional:

$$c^2\,\frac{\partial^2 x}{\partial s^2} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \qquad (268)$$

Pe aceeaşi bază se pot stabili ecuaţiile ce caracterizează presiunea p, viteza v, acceleraţia γ a mişcării energiei sonore, care pentru parametrul generic q , se prezintă sub forma:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = c^2\,\frac{\partial^2 q}{\partial s^2} \qquad (269)$$

Pentru cazul general al cîmpului sonor spaţial relaţia ce exprimă legea fenomenului se prezintă sub forma operatorului Laplace astfel:

$$\frac{1}{c^2}\cdot\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \Delta u \qquad (270)$$

în care „ u " este expresia potenţială de viteză a energiei sonore.

2.1.2. Viteza de propagare a undei longitudinale sonore într-un mediu elastic.

Intr-un mediu elastic, fig.135, se consideră suprafaţa S , prin care în timpul Δt se deplasează energia sonoră pe distanţa ℓ , cu viteza C, prin unde longitudinale.Considerînd mişcarea uniformă a energiei sonore, rezultă:

$$\ell = C.\Delta t \quad (271)$$

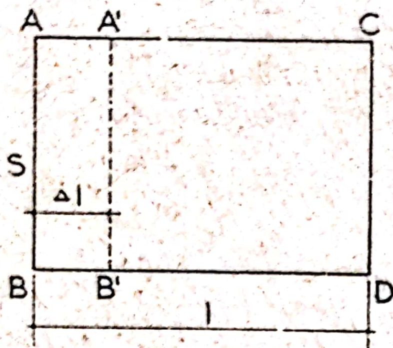


Fig.135. Viteza de propagare a undei sonore longitudinale în mediu elastic.

Particulele materiale din A,B, se deplasează în acelaş timp cu viteza " u" şi ajung în AB. Comprimarea volumului mediului elastic, datorită presiunii sonore, este dată de expresia :

$$\Delta\ell = u \cdot \Delta t \quad (272)$$

Conform legii lui Hooke, aplicată la medii elastice, forţa este dată de produsul $F = S.\sigma$ Cunoscînd că $\sigma = E.\varepsilon = E\frac{\Delta\ell}{\ell} = E\frac{u\Delta t}{C\Delta t} = E.\frac{u}{c}$, de unde

$$F = S.E.\frac{u}{c} \quad (273)$$

Expresia forţei sonore poate fi scrisă şi astfel:

$$F = m.\gamma = m.\frac{u - u_0}{\Delta t} = m\frac{\Delta u}{\Delta t} \quad (274)$$

Deoarece $m = S.\ell.\rho = S.C.\Delta t.\rho$, se obţine :

$$F = m\frac{\Delta u}{\Delta t} = S.C.\rho.u \quad (275)$$

Dacă egulăm expresiile forţelor sonore se obţine:

$$S.E.\frac{u}{c} = S.C.\rho.u \text{ şi deci } C^2 = \frac{E}{\rho} \quad (276)$$

2.1.3. Caracteristicile de presiune, intensitate şi absorbţie a sunetelor.

Presiunea sonoră, P, exercitată de sursa sonoră asupra mediului înconjurător este dată de raportul $p = F/S$ (6), în care F este forţa exercitată asupra aerului şi S, mărimea suprafeţei pe care acţionează. Cu cît presiunea este mai mare cu atît amplitudinea oscilaţiei sonore este mai mare şi deci sunetul emis este mai tare.

Presiunea sonoră pe unitatea de suprafaţă este dată de expresia:

$$p = \sigma = E.\varepsilon = F\frac{u}{c} \qquad (277)$$

Considerînd $E = c^2\rho$, pentru solide, se obţine :

$$p = \rho . c . u \; ; \; p_{max} = \rho . c . u_{max} \qquad (278)$$

Unitatea de presiune sonoră, denumită barye, este egală cu 1 dyn/cm^2 sau 1 mg/cm^2. Ca unităţi de măsură a presiunii sonore se pot folosi:

$$1N/m^2 = 10\ dyn/cm^2 = 10^{-5}\ bar \quad sau\ 1\ bar = 10^5\ \frac{N}{m^2} = 10^6\ dyn/cm^2 \; ;$$

$$1\ bar = 1\ dyn/cm^2$$

De exemplu, şoapta crează în aer la distanţa de 1 m o presiune de 0,01 bar, strigătul 10 bar şi un motor de aviaţie 200 bar. Pragul minim al presiunii auditive pentru a avea loc senzaţia auditivă este $p_{min} = 2.10^{-4}$ bar, iar pragul maxim 2.10^3 bar.

Tăria sunetului este funcţie de nivelul său energetic şi poate fi exprimată prin intensitatea sonoră, I, care defineşte fluxul de energie sonoră (ϕ) se trece într-o secundă printr-o suprafaţă de 1 m^2, perpendiculară pe direcţia de propagare a undei sonore ($I = \frac{\phi}{S}$) (15). Unitatea de intensitate acustică este $erg/s.cm^2$ sau $watt/m^2$ ($1\ w/m^2 = 10^3\ \frac{erg}{s.cm^2}$).

Fluxul de emisie sonoră este energia sonoră în unitatea de timp $\phi = \frac{W}{t}$ şi se măsoară în ergi/s, iar W energia acustică în ergi.

Intensitatea sonoră este definită de produsul între energia acustică W şi viteza sunetului :

$$I = W.C = \frac{1}{2} m.u_{max}^2.C = \frac{1}{2}\rho u_{max}^2 .C = \frac{1}{2}\rho .C.\frac{p_{max}^2}{\rho^2 c^2} = \frac{1}{2}\frac{p_{max}^2}{\rho c}$$

(279)

In cazul unor unde progresive, plane sau sferice, avînd viteza de propagare c, într-un mediu cu densitatea aparentă ϱ, într-un punct în care presiunea acustică efectiv este p_f, intensitatea acustică I este dată cu relația:

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\varrho \cdot c}, \text{considerînd } p_{ef} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}} \qquad (280)$$

Practic, intensitatea sonoră a unui sunet se exprimă prin raportare la o intensitate de referință. Se folosește astfel nivelul de intensitate sonoră L_i, ca noțiunea prin care definim intensitatea sonoră I a unui sunet prin comparație cu intensitatea de referință I_{min}, exprimîndu-se matematic printr-o relație logaritmică ceea ce reflectă caracteristicile de sensibilitate ale organului auditiv al omului. Ca intensitatea sonoră de referință se consideră pragul inferior al intensității auditive, la frecvența de 1000 Hz:

$$I_{min} = 10^{-12}\ w/m^2 = \frac{(2.10^{-4})^2}{43} = 10^{-9}\ ergi/s.cm^2 \qquad (281)$$

Considerînd că pragul superior al intensității auditive prezintă valoarea:

$$I_{max} = \frac{(2.10^{3})^2}{43} = 10^{5}\ ergi/s.cm^2, \text{ raportul } \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

rezultă $\frac{10^5}{10^{-9}} = 10^{14}$.

Se observă că unitatea de măsură absolută pentru intensitatea sonoră ar rezulta prea mare în domeniul de presiuni admisibile pentru urechea omenească adaptîndu-se de aceea o unitate de măsură relativă bazată pe legea lui Weber Fletcher, după care senzația se găsește în raport logaritmic cu excitația. De aici unitatea de măsură logaritmică a nivelului de intensitate sonoră, denumită bel, definită de relația $L_i = \log\frac{I}{I_{min}}$, în care I

intensitatea sonoră a sunetului de măsurat. Sunetul imediat superior ce poate fi distins de om, față de I_0, este $I_1 = 1,26\ I_0$, cu nivelul sonor $L_i = \log 1,26 = 0,1\ B = 1\ dB$.

Folosind ca unitate de măsură decibelul, relația nivelului sonor devine:

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_{min}} \qquad (282)$$

Pentru diferite valori ale raportului $\frac{I}{I_{min}}$ se obține:

$$\frac{I}{I_{min}} = 1 \qquad L_i = 0$$

$$\frac{I}{I_{min}} = 10 \qquad L_i = 10\ dB$$

$$\frac{I}{I_{min}} = 100 \qquad L_i = 20\ dB$$

$$\frac{I}{I_{min}} = 1000 \qquad L_i = 30\ dB$$

$$\frac{I}{I_{min}} = 10^{14} \qquad L_i = 140\ dB$$

Scara de măsurare a nivelului sonor este cuprinsă deci între 0 și 140 dB, ceea ce asigură o ordonare mai bine conturată a zgomotului exterior, în trepte de nivel ce reflectă caracteristicile de sensibilitate auditivă a urechii omenești, ce reacționează exponențial la acțiunile sonore ale mediului înconjurător.

Măsurarea nivelului de intensitate sonoră a unui sunet se face cu decibelmetrul sau voltmetrul electronic, prin transformarea oscilației acustice într-o oscilație electrică.

In mod analog se definește nivelul de presiune sonoră L_p,

cu ajutorul relaţiei:

$$L_p = 10.\log \frac{p^2}{p_o^2} = 20.\log. \frac{p}{p_o} \qquad (283)$$

în care p şi p_o sînt presiunea acustică a sunetului considerat şi respectiv presiunea sonoră de referinţă, corespunzător sunetului celui mai slab ce poate fi perceput, în banda de 1000 Hz.

$$p_o = 2.10^{-4} \ dyn/cm^2 = 2.10^{-5} \ N/m^2 \qquad (284)$$

Din cele definite mai sus rezultă că dacă intensitatea sonoră a unui sunet emis de o sursă sonoră creşte de 10, 100, 1000, 10000 ori, nivelul de intensitate sonoră creşte respectiv cu 10,20,30,40 dB, adică logaritmic. Dacă se suprapun efectele a două surse avînd intensităţile I_1 şi I_2, nivelul de intensitate sonoră rezultant nu este suma nivelelor sonore L_1 şi L_2, ci este definit de expresia:

$$L = 10.\log \frac{I_1 + I_2}{I_o} \qquad (285)$$

La funcţionarea în paralel a mai multor surse sonore identice, nivelul rezultant al sunetului este prezentat în tabelul 13, notînd L_1' nivelul de intensitate al sunetului emis de un singur aparat.

In cazul mai multor sunete caracterizate prin presiunile p_1, p_2,...... nivelul de presiune rezultant este definit de expresia:

$$L_p = 10.\log \frac{p_1^2 + p_2^2 + ...}{p_o^2} = 20.\log \sqrt{\frac{p_1^2 + p_2^2 + ...}{p_o^2}} \qquad (286)$$

Inălţimea sunetului reprezintă acea caracteristică a senzaţiei auditive, pe baza căreia sunetele pot fi ordonate în

sunete joase (grave), mijlocii şi înalte (ascuţite), în funcţie de frecvenţă.

Tabelul 13

Nivelul de intensitate acustică rezultant L_1

Nr. crt.	Numărul de aparate în serviciu concomitent, buc.	Nivelul de intensitate acustică rezultant, dB
1.	1	L'_1
2.	2	L'_1 + 3 dB
3.	3	L'_1 + 5 dB
4.	4	L'_1 + 6 dB
5.	5	L'_1 + 7 dB
6.	6	L'_1 + 8 dB
7.	7	L'_1 + 8,5 dB
8.	8	L'_1 + 9,o dB
9.	9	L'_1 + 9,5 dB
10.	10	L'_1 + 1o dB

Senzaţia datorită înălţimii sunetului variază aproximativ cu logaritmul frecvenţei. Din această cauză s-a adoptat ca scară grafică de reprezentare a înălţimilor sunetelor, logaritmul în baza 2 a raportului frecvenţelor (fig.136). In acest mod intervalul de înălţime între două sunete de frecvenţe f_1 şi f_2 depinde de raportul f_2/f_1 şi nu de diferenţa $f_2 - f_1$.

Sunetele pure, cu frecvenţele aflate în acelaşi raport, apar situate la interval de înălţime egal.

In natură nu se întîlnesc sunete pure. Practic avem de-a face cu sunete complexe care conţin mai multe sunete pure

sau armonice. Instrumentele muzicale nu dau sunete pure ci sunete compuse.

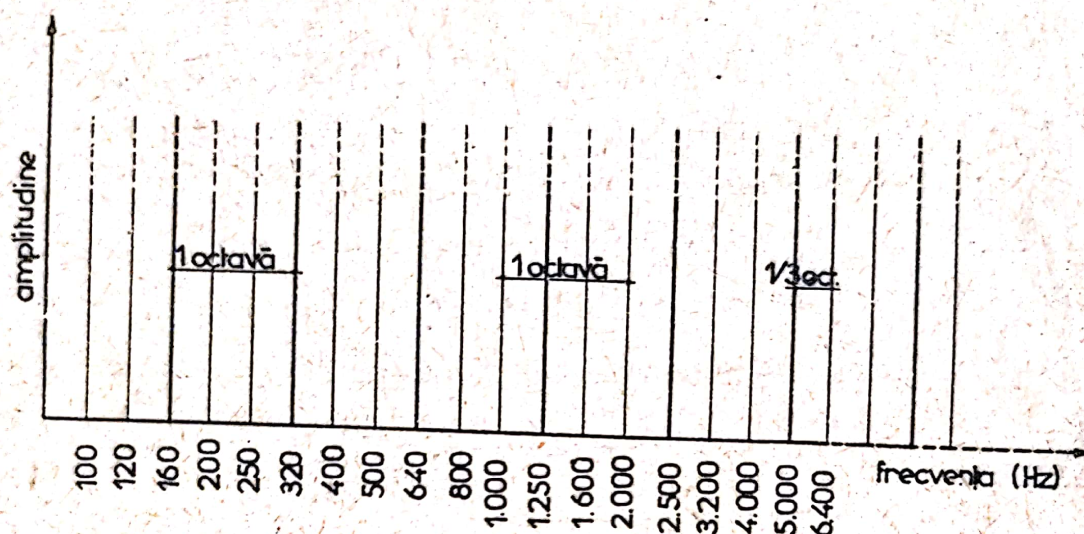


Fig.136. Scara obişnuită de reprezentare grafică a frecvenţelor utilizînd ca unitate de măsură intervalul de 1/3 octavă

Un ton compus este alcătuit din suprapunerea mai multor tonuri simple care nu sînt în rezonanţă, adică nu au aceeaşi frecvenţă.

Frecvenţa de rezonanţă f_r, a unei mase oscilante se calculează cu expresia:

$$f_r = \frac{1}{m.\pi} \sqrt{\frac{1}{m.K}} \qquad (287)$$

în care:

- m, masa oscilatorie, în g ;
- K, constantă elastică, în s^2/g.

Sunetul muzical constă dintr-un sunet fundamental şi un număr de armonice. Intervalul fundamental utilizat pentru scara frecvenţelor este octava. Numărul de octave n, care separă două sunete de frecvenţe f_1 şi f_2 este dat de expresia:

$$n = \log_2 \frac{f_2}{f_1} \qquad (288)$$

In mod practic pentru măsurătorile acustice se folosesc intervale de 1, 1/2, 1/3 şi 1/4 octavă. Se observă că pentru $\frac{f_2}{f_1} = 2$, intervalul este de o octavă, deoarece $\log_2 2 = 1$. Octava se defineşte deci ca intervalul dintre două frecvenţe între care există raportul 2 : 1.

Determinarea armonicilor simple ce intră în compoziţia unui sunet complex constituie analiza sunetului sau determinarea spectrului său. Reprezentarea grafică a nivelului intensităţii sonore a unui sunet compus, în funcţie de frecvenţă defineşte spectrograma sa (fig.137).

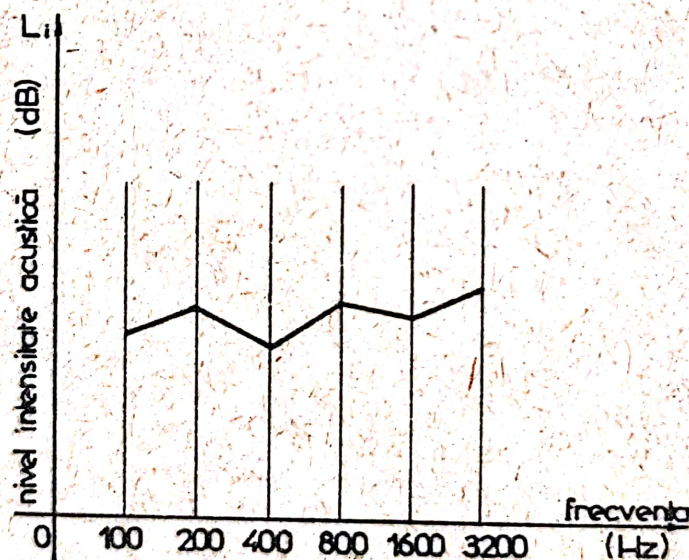


Fig.137. Spectrograma sunetului

Analizată pe un ecran osciloscopic se obţine oscilograma sunetului. Pentru analiza componentelor unui sunet se folosesc analizoare de sunet, spectrometre de audio frecvenţă şi filtre de frecvenţă de 1/3, 1/2 sau 1 octavă, fig.138.

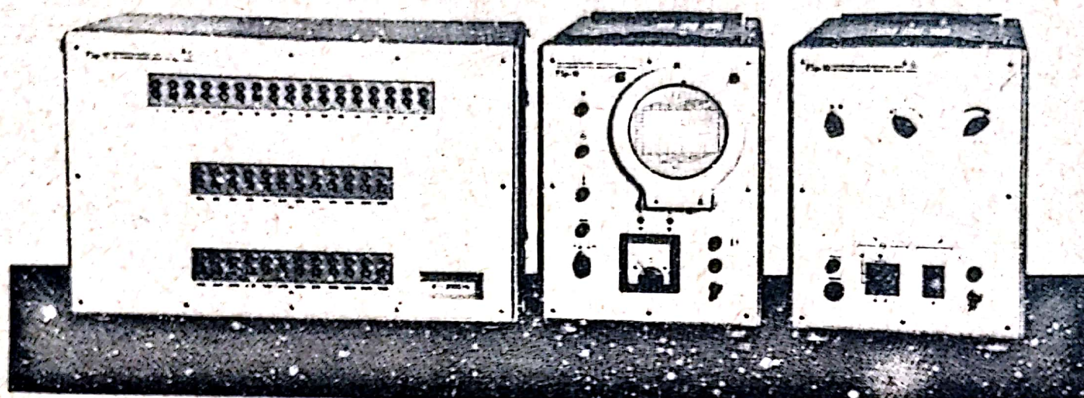


Fig.138. Spectrometru de audio frecvenţă

In cazul sunetelor neîntreţinute, oscilaţia sonoră se prezintă (fig.139)ca o undă amortizată cu o variaţie a amplitudinii dependentă de armonicile pe care le conţine. Numărul de armonice caracterizează timbrul unui sunet sau al unui instrument.

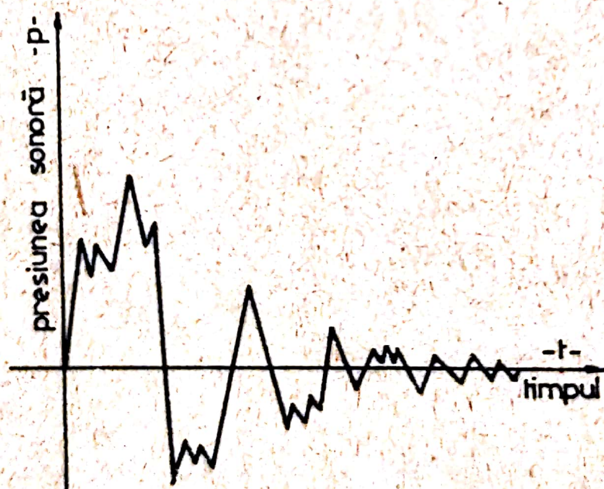


Fig.139. Oscilaţia acustică amortizată

Ecuaţia mişcării sinusoidale amortizată a sunetului pur (fig.140) se poate exprima cu relaţia:

$$p = A \sin \omega t \cdot e^{-\delta t} \qquad (289)$$

în care:

- δ, modul de amortizare, în $\frac{1}{s}$

Expresia modulului de amortizare este:

$$\delta = \frac{R}{2m} \qquad (290)$$

în care:

- R , rezistența la frecare mecanică;
- m , masa oscilatorie.

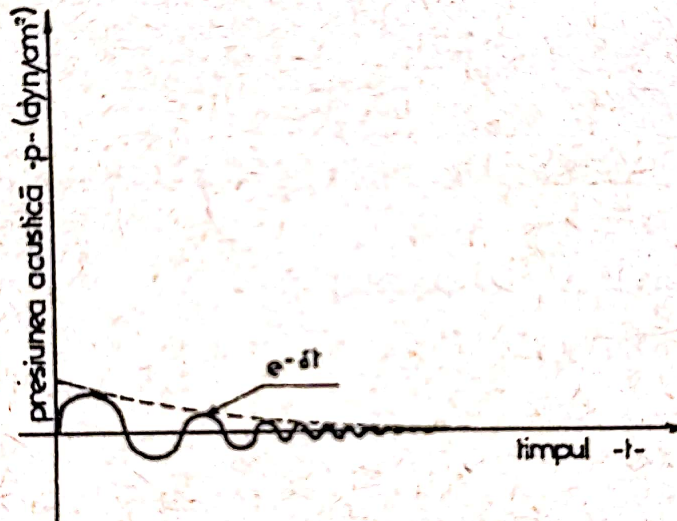


Fig.140. Mişcarea oscilatorie amortizată a sunetului pur.

Nota unui instrument muzical este compusă din aceleaşi armonice, luate în aceleaşi proporţii.

In problemele din construcţii intervine sunetul ca factor nociv (zgomotul). Zgomotul este compus din sunete armonice sau nearmonice, periodice sau neperiodice, a căror frecvenţă nu urmează o lege riguroasă.Zgomotul este deci o vibraţie acustică ce conţine componente nedefinite, de amplitudine şi intensitate diferită, constituind un sunet supărător.

In problemele de izolare acustică a clădirilor ca şi în acustica încăperilor este necesar să cunoaştem compoziţia spectrală a zgomotelor şi a sunetelor, intensitatea şi variaţia în timp a energiei sonore. In fig.141 se prezintă scheme ale instalaţiei electroacustice necesară pentru analiza zgomotelor. La analiza zgomotelor efectuată de un spectrometru se obţin nivele aproximative de intensitate, cu aproximaţii variabile cu frecvenţa, deoarece benzile de frecvenţă ale filtrelor au o lăţime din ce în ce mai mare spre domeniul sunetelor ascuţite. Pentru a se calcula nivelul real, L_{1Hz}, în dB, corespunzător unei benzi teoretice cu lăţimea de 1 Hz, se poate utiliza relaţia:

$$L_{1\ Hz} = L_{\Delta F} = \log_{10} (\Delta F) \qquad (291)$$

în care:

- $L_{\Delta F}$, nivelul de intensitate sonoră indicat de aparat, în dB;

- ΔF, lăţimea benzii de analiză a filtrului de frecvenţă. Dacă o undă sonoră întîlneşte un obstacol au loc modificări ale direcţiei de propagare şi a caracteristicilor energetice. Astfel o parte din energia incidentă se reflectă după legi similare undelor luminoase (fig.142), o parte din energie se propagă mai departe, pe direcţia razei refractate, transformîndu-se parţial în căldură datorită frecărilor interioare dintre particulele de aer şi pereţii porilor materialelor. Cantitatea de energie netransformată în căldură străbate obstacolul şi iese pe faţa opusă a acestuia sub formă de energie transmisă.

Coeficientul de reflexie sonoră (α_r) al unei suprafeţe este raportul dintre intensitatea sonoră reflectată (I_r) şi intensitatea sonoră incidentă (I_i), conform relaţiei:

$$\alpha_r = \frac{I_r}{I_i} \qquad (292)$$

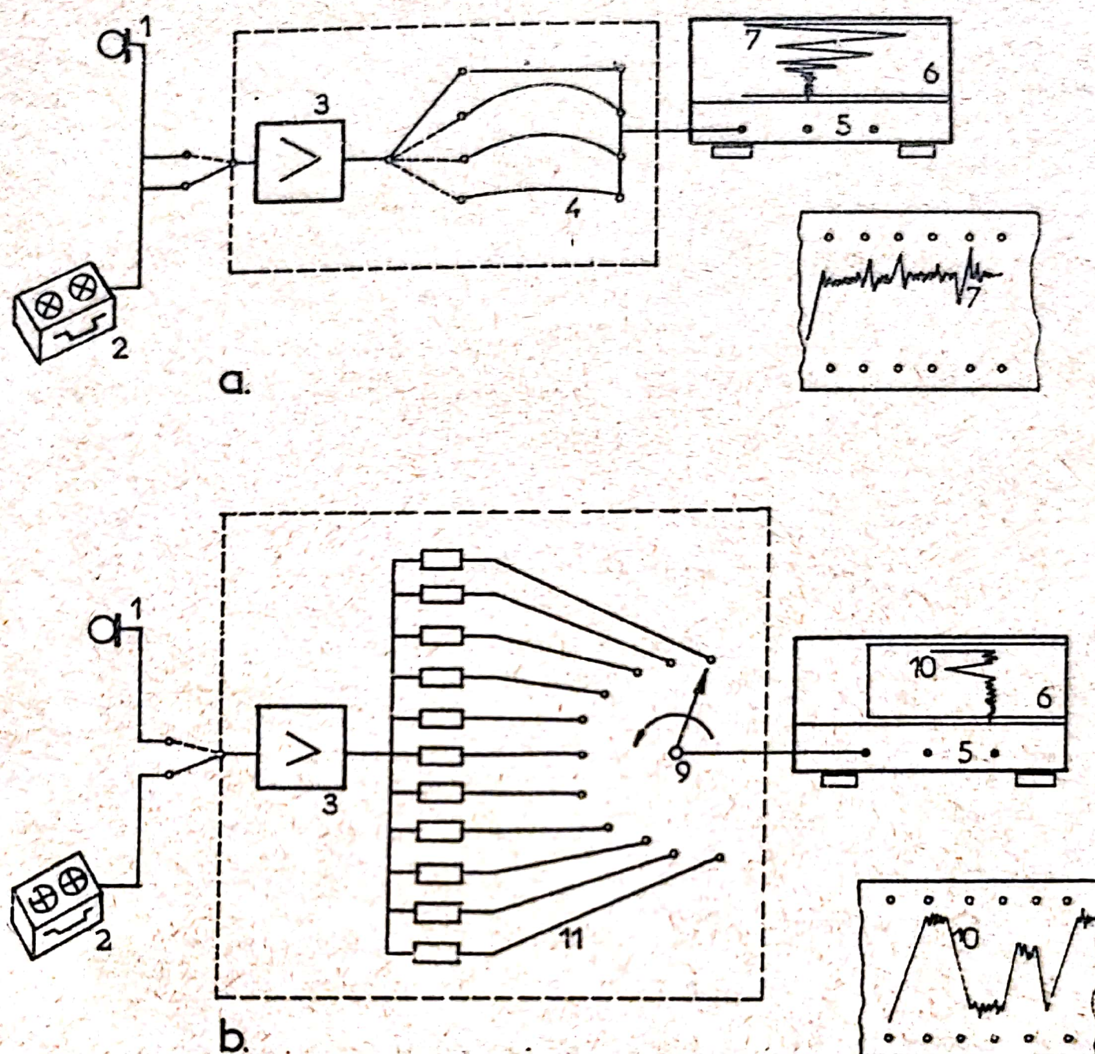


Fig.141.Scheme pentru măsurarea caracteristicilor zgomotului.a)Inregistrarea variaţiei nivelului de presiune acustică. 1- microfon; 2-magnetofon; 3 -multiplicator;4-curbe de atenuare; A,B,C -L,caracteristică liniară; 5-înregistrator rapid de nivel; 6-tambur cu hîrtie; 7 -diagrama variaţiei de nivel; 8 - peniţă inscriptoare. b) Inregistrarea variaţiei nivelului de presiune in benzi de frecvenţă 1...8-idem ca la punctul a ; 9-comutatori; 10-diagrama variaţiei de nivel în benzi de frecvenţă; 11-filtre

Coeficientul de transmisie sonoră α_{tr}, al unui corp, pentru un sunet de frecvenţă dată, este raportul dintre intensitatea sonoră transmisă (I_{tr}) prin corp şi intensitatea sonoră in-

cidentă (I_i) primită de corpul considerat, exprimat astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{I_{tr}}{I_i} \qquad (293)$$

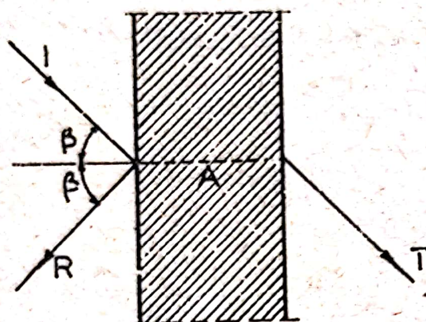


Fig. 142. Reflexia, absorbția și transmisia sunetelor prin elemente de construcție.

Coeficientul de transmisie sonoră α_{tr}, al unui corp, pentru un sunet de frecvență dată, este raportul dintre intensitatea sonoră transmisă (I_{tr}) prin corp și intensitatea sonoră incidentă (I_i) primită de corpul considerat, exprimat astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{I_{tr}}{I_i} \qquad (294)$$

Coeficientul de absorbție sonoră (α_a) al unui corp, pentru un sunet de frecvență dată, este raportul dintre intensitatea sonoră absorbită (I_a) de un corp și intensitatea incidentă (I_i), conform expresiei:

$$\alpha_a = \frac{I_a}{I_i} \qquad (295)$$

Intre coeficienții α_r, α_{tr} și α_a există relația:

$$1 = \alpha_r + \alpha_{tr} + \alpha_a \qquad (296)$$

In elementele curente de construcții, energia sonoră ce trece prin obstacol este atenuată de mii de ori, adică α_{tr} este mai mic de 0,001. Coeficienții α_r și α_a se exprimă pentru unele materiale în zecimi de unități și deci sînt mult mai mari decît α_{tr}. Din această cauză în studiile privind fenomenele de absorbție și reflexie a sunetelor în interiorul încăperilor se pot neglija fracțiunile de energie sonoră care au trecut prin obstacol și care s-au pierdut ireversibil în interiorul încăperii, consi-

derînd cu aproximaţie, $\alpha_a + \alpha_r = 1$ (297)

Atenuarea energiei sonore datorită elementelor de construcţie se poate exprima, în alt mod cu ajutorul expresiei ce ia în considerare energia incidentă şi energia reflectată de obstacol:

$$\frac{E_i - E_r}{E_i} = \alpha_a \qquad (298)$$

în care α_a reprezintă coeficientul de absorbţie a energiei sonore de către elementul de construcţie, definit mai sus.

Dacă materialul absoarbe complet sunetul incident, $\alpha_a = 1$.

Determinarea experimentală a coeficientului de absorbţie acustică se poate realiza cu ajutorul tubului de absorbţie din fig.143.

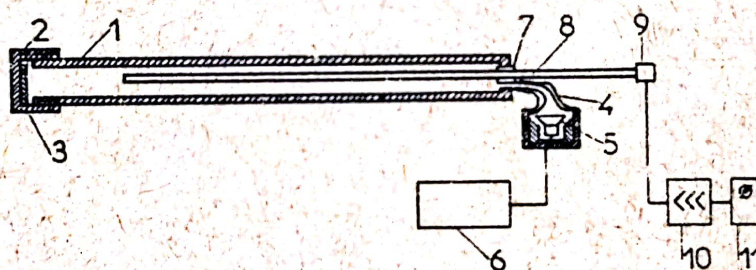


Fig.143. Tub de absorbţie pentru determinarea coeficientului de absorbţie. 1 - Tub metalic ; 2- capac ; 3 - materialul de încercat ; 4 - ajutaj de trecere ; 5-difuzor; 6- generator de audiofrecvenţe; 7- presetupă ; 8 - tub sondă; 9 - microfon ; 10 - amplificator ; 11 - voltmetru electronic.

Materialele poroase au proprietatea de absorbţie a sunetului. Astfel pîsla, vata minerală, tencuiala poroasă au coeficientul de absorbţie acustică cuprins între o,2 şi o,8 ceea ce arată că absorb bine sunetele. Materialele de construcţie compacte, cum sînt cărămida, betonul, metalele şi lemnul reflectă aproape

complet sunetele, coeficientul de absorbţie acustică al acestor materiale este cuprins între 0,02 şi 0,08. Capacitatea de absorbţie a sunetelor de către materialele poroase depinde de frecvenţă, aşa cum rezultă din datele prezentate în tabelul 14.

Materialele poroase absorb mai puţin sunetele joase decît cele înalte, adica coeficientul de absorbţie sonoră creşte cu frecvenţa sunetului. Materialele grele absorb mai bine sunetele joase.

Ca unitate de absorbţie acustică (unitate absolută) se consideră capacitatea de absorbţie a 1 m^2 de fereastră deschisă, denumită sabine şi exprimată în m^2. In cazul ferestrei deschise

$E_r = 0$ şi deci $\frac{E_i - 0}{E_i} = \alpha_a = 1$, coeficientul de absorbţie acustică este maxim.

Coeficientul de transmisie acustică α_{tr} se poate exprima şi funcţie de energia sonoră astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{E_{tr}}{E_i} \qquad (299)$$

Se poate defini astfel gradul de reducţie sonoră al unui element de construcţie pe baza relaţiei:

$$R = 10 \log \frac{1}{\alpha_{tr}} = 10 \log \frac{E_i}{E_{tr}} \qquad (300)$$

2.2. Sunetul fiziologic.

Sunetul fiziologic caracterizează senzaţia auditivă şi se produce pentru vibraţii avînd frecvenţa între 16 şi 20000Hz, interval ce defineşte domeniul de audibilitate, fig.144, ce cuprinde sunetele pentru care urechea omenească este sensibilă la vibraţiile sonore.

Tabelul 14

Coeficienţii de absorbţie, α_a, ai materialelor de construcţie

Materialul	pentru frecvenţa, în Hz					
	525	250	500	1000	2000	4000
Lînă minerală, 10 cm grosime	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Vată de sticlă afînată, 6 cm grosime	0,09	0,39	0,61	0,74	0,83	0,87
Pîslă moale, 1...2 cm grosime.	0,02	0,04	0,10	0,21	0,57	0,92
Covor 5 mm grosime	0,04	-	0,5	-	0,32	-
Draperie de catifea (0,6 Kg/mp) montată la 10 cm distanţă de perete	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35
Parchet esenţă tare (18 mm) în asfalt	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Placaj 3 mm montat la 5 cm distanţă de perete	0,11	0,21	0,10	0,05	0,05	0,02
Panouri policilindrice din placaj de 6 mm grosime	0,28	0,26	0,15	0,11	0,09	0,06
Geamuri montate în ferestre	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Beton vopsit în ulei	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Tencuială netedă	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Tencuială acustică 10 cm grosime	-	0,03	0,07	0,11	0,20	0,34
Linoleum 6 mm grosime montat pe beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
Absorbţia publicului, 1 persoană pe mp	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Absorbţia unui scaun din placaj	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Absorbţia unui fotoliu complet capitonat	0,11	0,18	0,28	0,35	0,45	0,42

Vibrațiile cu frecvența mai mică de 16 Hz, alcătuiesc domeniul sub limita audibilității și se numesc infrasunete, iar cele cu frecvență mai mare de 20000 Hz, alcătuiesc domeniul peste limita audibilității și se numesc ultrasunete.

Scara înălțimilor sunetelor, care exprimă aspectul fiziologic al frecvenței, permite ordonarea sunetelor în trei categorii:

- sunete grave, cu frecvența 20...200 Hz ;
- sunete medii, cu frecvența 200..2000 Hz ;
- sunete înalte, cu frecvențe 2000, 20.000 Hz.

Pentru ca un sunet să poată fi perceput, să poată produce senzația auditivă, este necesar ca intensitatea sa sonoră să aibă o anumită valoare minimă. Această valoare minimă a intensității sonore depinde de frecvența sunetelor și de sensibilitatea urechii. Convențional, ca limită inferioară a sunetului perceptibil, se ia sunetul cu frecvența 1000 Hz și presiunea sonoră de $2 \cdot 10^{-4}$ dyn pe cm^2 sau $2 \cdot 10^{-5}$ N/m^2. Această limită inferioară se numește prag de audibilitate, fig.144, caracterizat prin valoarea presiunii acustice minime, pentru o frecvență dată, care produce o senzație auditivă percepută de un ascultător otologic normal. La sunete cu frecvență mai mică de 1000 Hz, pragul de audibilitate crește, adică cu cît sunetul este mai grav, cu atît este necesară o intensitate, respectiv o presiune sonoră mai mare, pentru ca sunetul să poată fi perceput de urechea omenească. Sensibilitatea maximă a urechii corespunde sunetelor cu frecvența între 2000 și 5000 Hz.

Sunetele foarte puternice produc senzația de apăsare asupra timpanului și se transformă în durere. Această situație are loc pentru sunetele a căror presiune este de $2 \cdot 10^2$ dyn $/cm^2$ la frecvența de 1000 Hz. Limita superioară a audibilității sunetelor

determină pragul senzației dureroase și se definește prin valoarea presiunii acustice eficace, pentru o frecvență dată care produce unui ascultător otologic normal o senzație de durere.

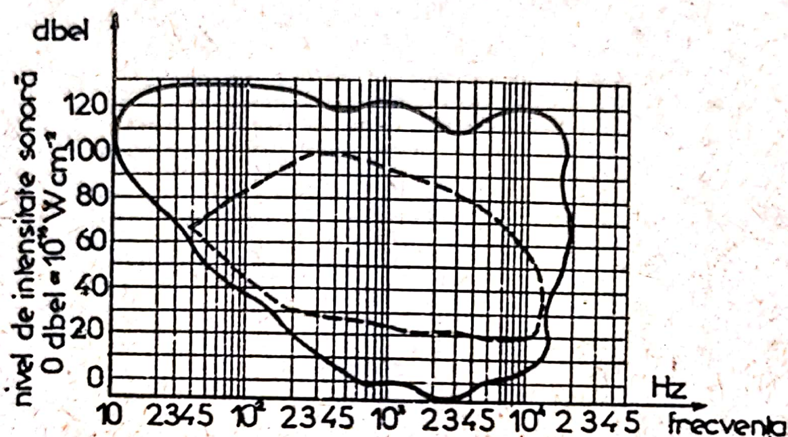


Fig.144. Domentul sunetelor audibile

Pragul senzației dureroase variază ca și pragul de audibilitate cu frecvența sunetului. Sensibilitatea urechii omenești variază astfel cu frecvența, în sensul că sensibilitatea este maximă pentru frecvențele apropiate de 1000 Hz. In fig.145 se prezintă curbele Fletcher - Munson, de egal nivel de tărie sonoră (izosonice), perceput de un ascultător cu ureche normală.

Măsurile sonore prin care se exprimă cantitativ senzațiile auditive se numesc mărimi auditive și se referă la:

- intensitatea auditivă (I_a), ce caracterizează energetic tăria sunetului perceput de urechea omenească ;

- nivelul de intensitate auditivă (L_a), ce este de 10 ori logaritmul în baza 10 al raportului dintre intensitatea auditivă I_a a unui sunet și intensitatea auditivă de referință I_a^o, conform expresiei:

$$L_a = 10 \log \frac{I_a}{I_a^o} = 20 \log \frac{p_a}{p_a^o} \qquad (301)$$

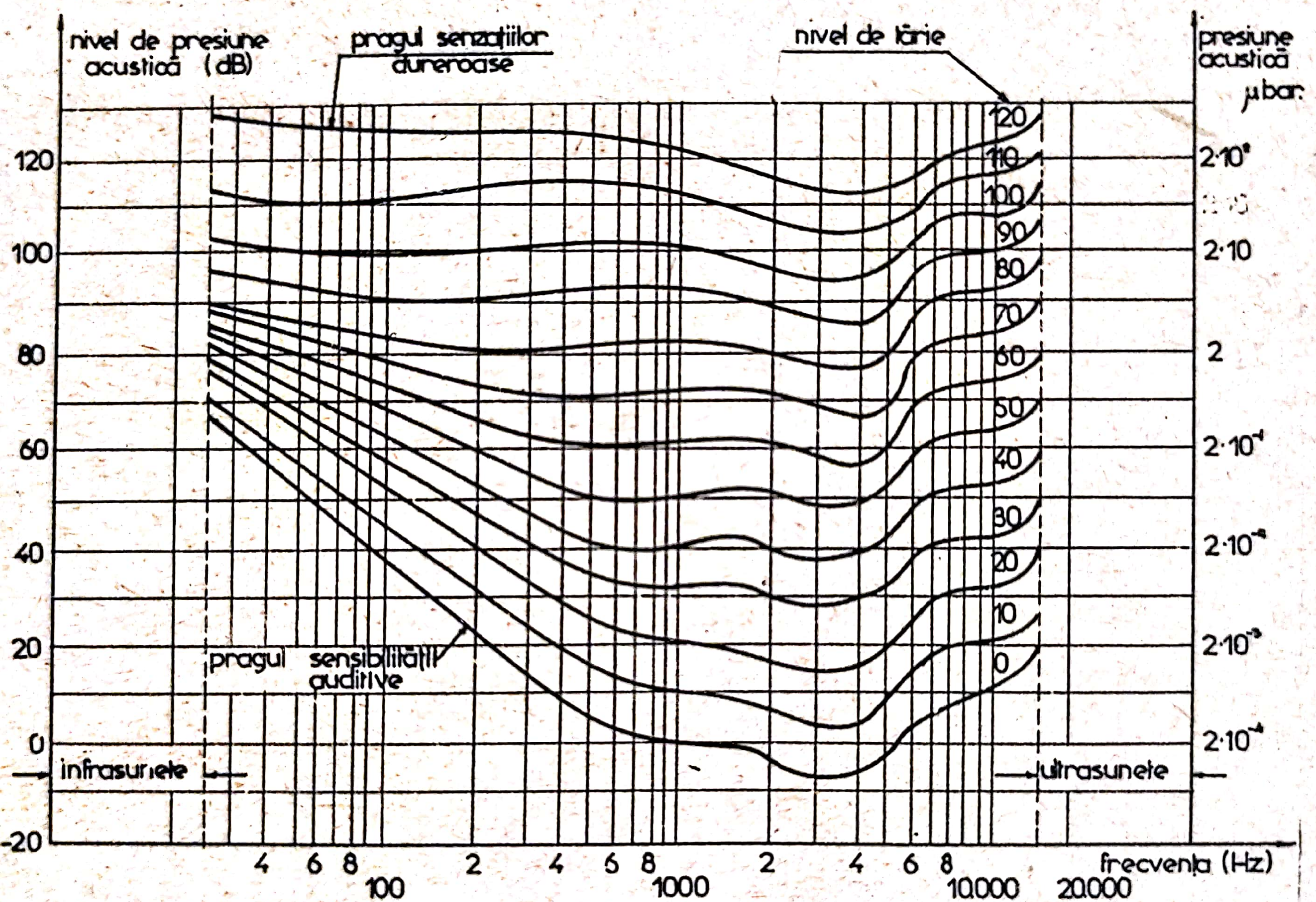


Fig.145. Curbele nivelelor de egală tărie sonoră stabilite de Fletcher şi Munson

Unitatea de măsură a nivelului de intensitate auditivă este fon-ul. Pentru sunetele cu frecvenţă de 1000 Hz, valoarea nivelului intensităţii sonore, exprimată în dB şi acea a intensităţii auditive, exprimată în fon este egală, avînd acelaşi nivel de referinţă şi anume intensitatea sonoră de 10^{-16} W/cm^2.

Folosirea unei scări logaritmice în aprecierea intensităţii auditive a sunetelor se explică prin aceea că intensitatea acustică sau presiunea acustică creşte ca numerele 1,10,100,1000,10000, iar intensitatea fiziologică corespunzătoare creşte cu logaritmul intensităţii acustice, adică cu numerele 0,1,2,3,4,5.... Măsurarea nivelului de intensitate auditivă a sunetelor se face cu fonometrul, fig.146, iar înregistrarea lor cu ajutorul unui hipsograf, fig.147, sau înregistrator rapid de nivel.

Pentru a se realiza apropierea de caracteristica de sensibilitate a urechii umane, fonometrele sînt dotate cu filtre ponderatoare, definite de curbele A,B,C din fig.148,utilizate la etalonarea aparatelor şi folosite la măsurători pentru sunetele slabe (25....55 dB) după curba A, pentru sunete cu nivel mijlociu de intensitate (55...85 dB), după curba B şi pentru domeniul sunetelor foarte puternice (peste 85 dB), după curba C. Unele fonometre noi sînt prevăzute cu filtre liniare în gama de frecvenţe audibile.

Conform normelor internaţionale, rezultatele măsurătorilor nivelului de intensitate acustică, în dB, sînt însoţite de indicativul A,B,C (dB_A , dB_B, dB_C) conform curbei de etalonare utilizate sau dB_L în cazul filtrelor liniare.

In practică se consideră acceptabilă aproximaţia echivalenţei pentru întreg domeniu de frecvenţe audibile, dintre decibel, unitate de măsură sonoră a sunetului obiectiv şi fon, unitate de măsură auditivă a sunetului subiectiv.

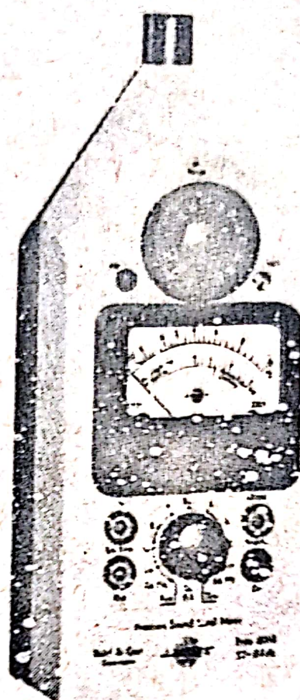


Fig.146. Fonometrul Brüel şi Kjaer

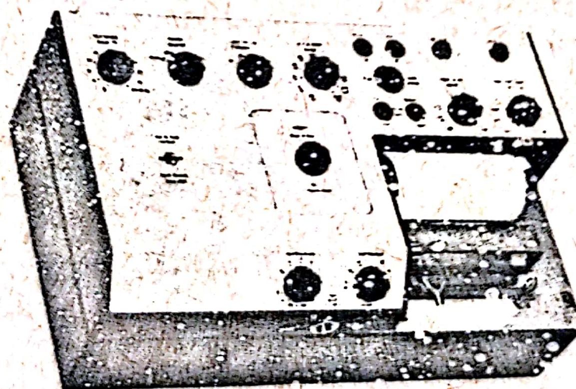


Fig.147. Inregistrator rapid de nivel(hipsograf)

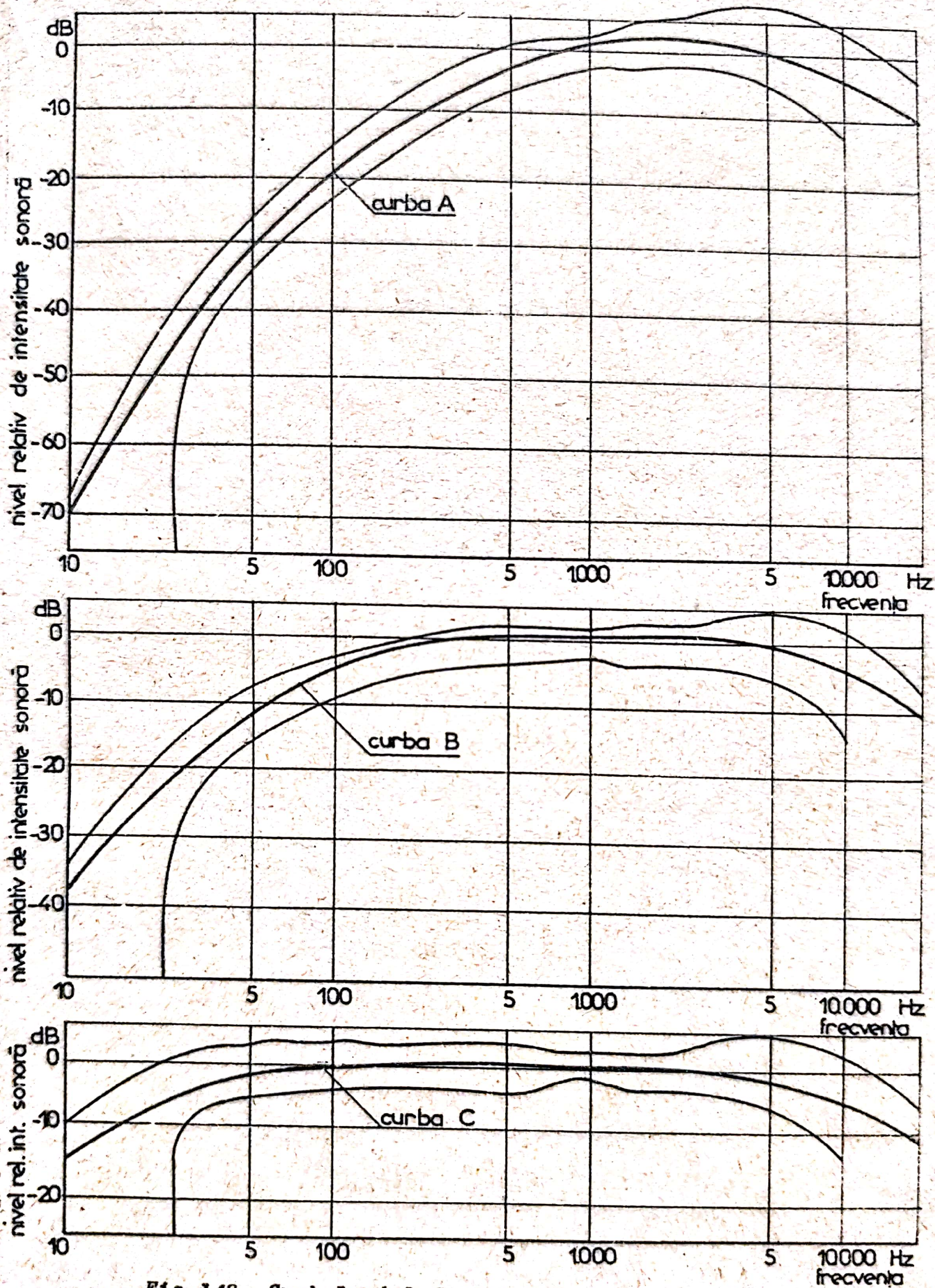


Fig.148. Curbele A,B,C, de etalonare a fonometrelor potrivit normelor internaționale

Pentru aprecierea diverselor valori ale tăriei zgomotelor exterioare se prezintă valorile intensităţilor auditive ce interesează practic:

- pragul senzaţiei dureroase.................. 130 foni ;
- motor de avion cu 1600 ture/minut la 5 m distanţă.......120 foni ;
- tren expres în viteză mare...................110 foni ;
- motocicletă fără tobă de eşapament..........100 foni ;
- stradă cu circulaţie intensă,metrou......... 90 foni ;
- birou de copiat acte cu maşina de dactilografiat, zgomot de tramvai........................ 70 foni ;
- stradă cu circulaţie mijlocie, cu megafon.. 60 foni ;
- restaurant cu animaţie mijlocie............ 50 foni ;
- emisiune uşoară, cu muzică, în locuinţă.... 40 foni ;
- stradă liniştită cu locuinţe............... 30 foni ;
- şoaptă la distanţa de 1 m.................. 20 foni ;
- foşnetul frunzelor......................... 10 foni ;
- linişte absolută, pragul senzaţiei auditive 0 foni ;

3. Izolarea fonică contra zgomotelor exterioare.

S-a arătat că sunetul care acţionează neplăcut asupra sistemului nervos al omului,sub formă de zgomot, implică cunoaşterea compoziţiei sale spectrale şi măsuri constructive eficiente pentru limitarea nivelului său.

Măsurile constructive adoptate privind asigurarea confortului acustic şi păstrarea nivelului fonic în limite acceptabile din punct de vedere biologic definesc lucrările de izolări fonice.

Zgomotele pătrund din exterior în interiorul clădirii, dintr-o încăpere în alta pe două căi:

- Sub formă de energie sonoră transmisă prin conducție aeriană (zgomote aeriene, fig.149);

- Sub formă de energie sonoră transmisă prin conducție solidă (zgomote structurale, fig.15o).

Zgomotele se pot clasifica după poziția sursei și după modul de transmitere.

După poziția pe care o ocupă sursa față de încăperi, zgomotele pot fi:

- interioare, cînd sursa generatoare de zgomot se află în interiorul clădirii;

- exterioare, cînd sursa generatoare de zgomot se află în exteriorul clădirii.

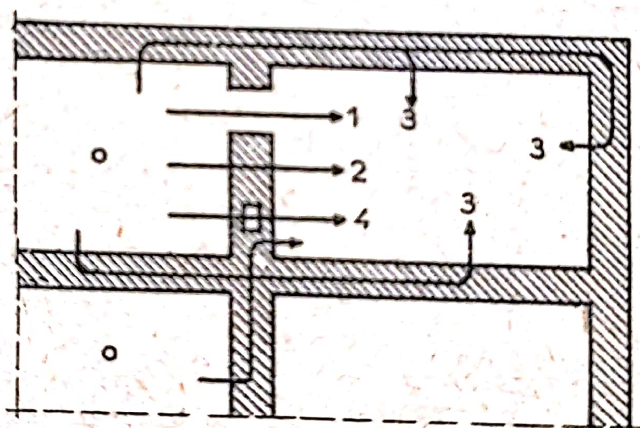


Fig.149. Transmisia zgomotului în clădiri.
1- Transmisia prin deschizături (uși și ferestre) ; 2- Transmisia prin pereți; 3- Transmisia indirectă ; 4 - Transmisia prin conducție.

După modul de transmitere, zgomotele pot fi :

- propagate prin aer;

- produse prin șoc (zgomot de impact) ;

- produse de funcţionarea utilajelor şi instalaţiilor.

Pentru a micşora acţiunea zgomotelor asupra încăperilor şi a clădirilor în general, cele mai economice măsuri constau în amortizarea la sursă a zgomotelor şi prin amplasarea corespunzătoare a zonelor rezidenţiale faţă de sursele de zgomot.

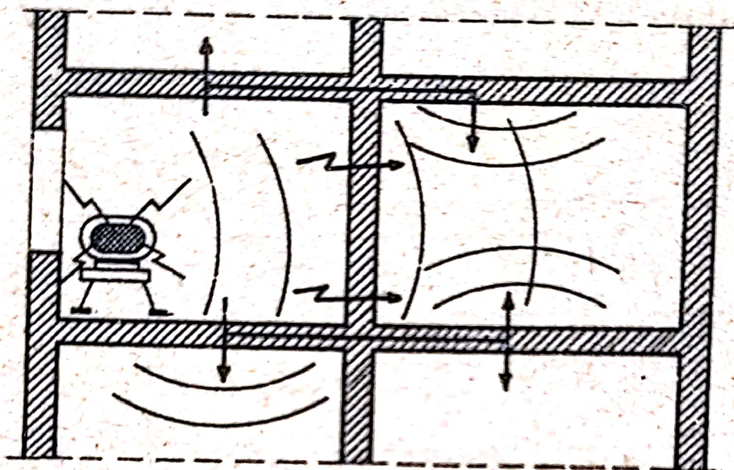


Fig.15o. Transmisia zgomotului aerian în clădiri

Zgomotele exterioare sînt produse de circulaţia pietonilor şi vehiculelor, de funcţionarea mecanismelor şi instalaţiilor.Pentru protecţia împotriva zgomotelor exterioare se pot lua măsurile:

- Zonificarea oraşelor pe funcţiuni, creindu-se zonele industrială (zgomotoasă), administrativă, comercială, de locuit;
- Amplasarea zonelor de locuinţe retrase faţă de arterele de circulaţie intensă;
- Intreţinerea drumurilor carosabile;
- Limitarea zgomotelor pe străzi prin legi şi regulamente;
- Realizarea de zone verzi între zonele de locuit şi zonele zgomotoase.

La fixarea distanţelor între cartierele de locuit şi cartierele zgomotoase se are în vedere atenuarea zgomotelor datorită frecărilor în aer. Atenuarea zgomotelor în aer scade cu logaritmul distanţei faţă de sursa de zgomot, conform relaţiei:

$$L_d = L_o - 20 \log d \qquad (302)$$

în care:

- L_d, nivelul zgomotului atenuat, în dB ;
- L_o, nivelul zgomotului la sursă, în dB ;
- d, distanţa în metri, la care se consideră atenuarea zgomotului faţă de sursă.

Intensitatea sonoră la distanţa "d" faţă de sursa de zgomot scade logaritmic, conform relaţiei :

$$I_d = I_o \cdot e^{-md} \qquad (303)$$

în care:

- I_d , intensitatea zgomotului la distanţa "d" de sursa sonoră ;
- I_o , intensitatea zgomotului emis;
- d , distanţa de sursă, unde se măsoară intensitatea zgomotului ;
- m , coeficient de absorbţie, înregistrat la 1 m distanţă de sursa de zgomot ;
- e , baza logaritmului natural.

Practic, intensitatea sonoră a zgomotului scade cu cca. 6 dB la fiecare dublare a distanţei, $L_1 - L_2 = 6$ dB (fig.151).

Dacă între sursele de zgomot exterioare şi clădirea considerată sînt prevăzuţi arbori înalţi cu coroană bogată, se poate considera şi atenuarea zgomotului datorită absorbţiei plantaţiilor, evaluîndu-se la 6...10 dB. Este necesar a se avea în vedere că frecvenţele înalte sînt absorbite mai mult decît cele joase.

Pentru protecţia acustică a clădirilor se ţine seama şi de soluţia de plan, care trebuie să fie cît mai judicioasă, ceea ce se obţine prin amplasarea încăperilor liniştite spre curţi interioare şi parcuri, prin soluţii constructive eficiente fonic, prin măsuri de izolare a instalaţiilor din clădiri, prin finisaje adecvate, absorbante acustic.

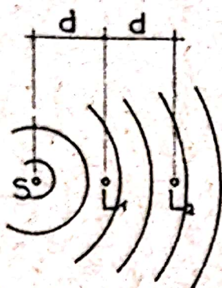


Fig.151. Scăderea nivelului acustic cu distanţa, în aer liber.

In cadrul măsurilor urbanistice, pentru reducerea şi combaterea zgomotului trebuie să se ia în considerare clima, relieful, apele, vegetaţia, orientarea, amplasarea, distanţa între clădiri, caracteristicilor străzilor, regimul de construcţie.

Vîntul influenţează transmisia zgomotului în direcţia sa,implicînd în calcule un spor de 10...20 dB. Umiditatea mărită a atmosferei micşorează distanţa de propagare şi atenuează intensitatea zgomotului.

La calculul nivelului zgomotului atenuat se va lua ca nivel la sursă L_o, pentru diverse mijloace de transport, următoarele valori:

- tramvai.....,L_o = 76...90 foni ;
- autocamion...L_o = 80...98 foni;
- autobuz .....L_o = 64...79 foni;
- troleibuz....L_o = 66...76 foni;
- autoturism...L_o = 68...84 foni;
- motocicletă..L_o = 72 ..84 foni

Nivelul mediu sonor obişnuit ce caracterizează o anumită zonă a unui oraş constituie nivelul fonic de fond şi are

valoarea de cca 35...50 dB.

Nivelul sonor mediu pe cele mai importante artere de circulaţie din cuprinsul oraşelor, atinge 65...75 dB, iar zgomotul provenit din transportul pe străzi şi care pătrunde în camerele clădirilor de locuit atinge în unele cazuri 70...80 dB. Nivelul sonor al zgomotului produs de trenuri poate trece de 100 dB, iar frecvenţele lui înalte îl fac extrem de greu de suportat.

Repartizarea energiei sonore depinde de tipul străzilor. La străzi de tip culoar, energia sonoră este reflectată, deci amplificată de clădiri, fig.152.

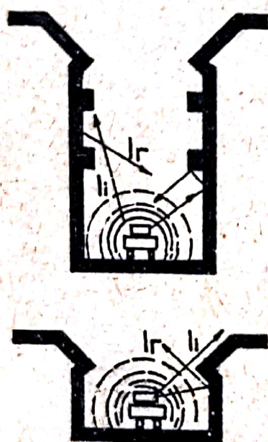


Fig.152. Reflexia undelor sonore de către părţile clădirilor amplasate în străzi de tip coridor.

Intr-un punct A din acest spaţiu peste undele incidente de intensitate I_i, se suprapun undele reflectate de intensitate sonoră I_r, care determină o creştere a intensităţii sonore datorită suprapunerii energiei reflectate.

Distribuţia zgomotului depinde şi de orientarea clădirilor faţă de zonele de circulaţie, fig.153, longitudinală sau transversală. Unele clădiri pot asigura rolul de ecran pentru micşorarea transmisiei sonore în cvartalul de locuit, fig.154. In fig.155 se prezintă nivelul de zgomot măsurat într-o stradă din oraşul Iaşi cu circulaţie de tramvai.

La acţiunea zgomotelor exterioare, protecţia acustică a pereţilor exteriori (fig.156). se consideră asigurată, dacă gradul de izolare D_{ef} al peretelui exterior este superior valorilor:

- 35 dB în gama 100...500 Hz ;

- 40 dB în gama 500....1500 Hz ;
- 50 dB în gama 1500...3000 Hz.

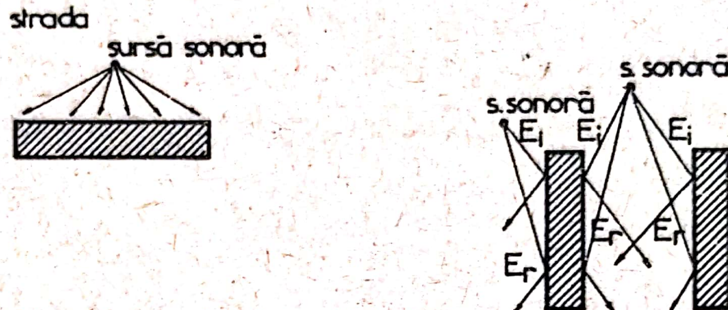


Fig.153. Poziţii diferite ale clădirilor de locuit faţă de sursa sonoră

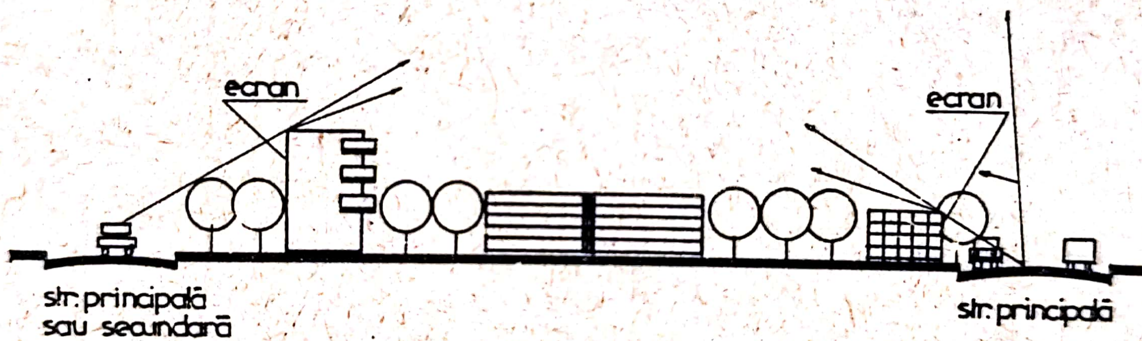


Fig.154. Repartizarea clădirilor ecran în ansamblul de locuinţe

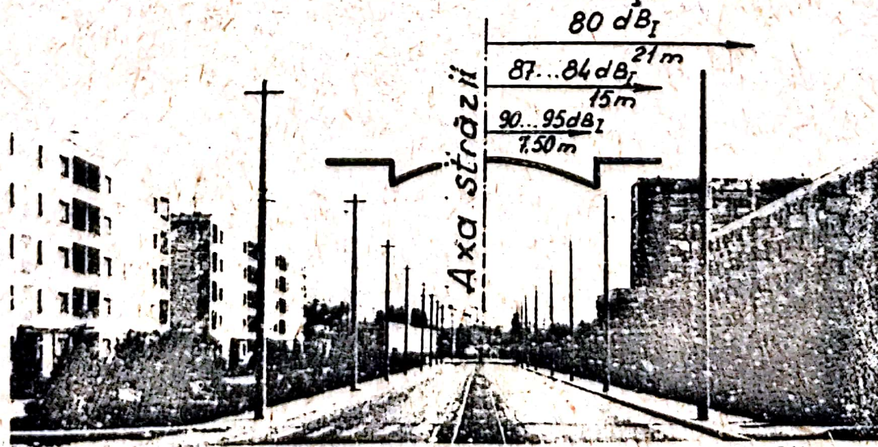


Fig.155. Nivelul de zgomot într-o stradă din oraşul Iaşi

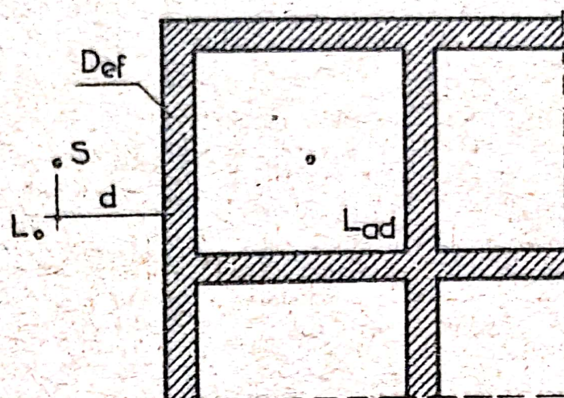


Fig.156. Izolarea pereţilor exteriori la zgomotul exterior.

4. Izolarea acustică necesară la zgomotul aerian.

Zgomotul aerian poate proveni din exteriorul sau interiorul încăperilor.

Sursele interioare de zgomot pot fi: oamenii, instrumentele muzicale, aparatele de radio, mecanismele diverselor instalaţii tehnice ale clădirilor în timpul funcţionării lor.

Pentru dimensionarea elementelor de construcţii, din punct de vedere al izolării fonice, trebuie îndeplinită inegalitatea:

$$D_{ef} \geqslant D_{nec} \qquad (304)$$

în care:

- D_{ef}, gradul de izolare fonică efectiv al elementului de construcţie, în foni sau dB ;

- D_{nec}, gradul de izolare fonică necesar al elementului de construcţie, în foni sau dB ;

Gradul de izolare fonică necesar, la zgomotul aerian, se calculează cu expresia:

$$D_{nec} = L_t - L_{ad} \qquad (305)$$

în care:

- L_t , nivelul teoretic al intensităţii zgomotului din aer, produs în încăperi de diverse destinaţii, în foni;

- L_{ad} , nivelul admisibil al intensităţii zgomotului din aer, ce se consideră acceptabil în încăpere, în foni.

In literatura germană se citează următoarele trepte de intensităţi admisibile ale zgomotului, L_{ad} , pe ramuri de activităţi :

- activităţi cu concentraţie intelectuală.... 5o DIN foni;
- lucrări de birou şi altele asemănătoare.... 7o DIN foni;
- celelalte lucrări.......................... 9o DIN foni;

Normele DIN germane , ONORM austriece şi GOST sovietice indică niveluri de intensitate maximă admisibile diferite, în exteriorul clădirilor de locuit, tabelul 15.

Tabelul 15

Nivelul de intensitate sonoră maximă, admisibil, în exteriorul clădirilor

Nr. crt.	Z o n a	Nivelul de intensitate sonoră maxim admisibil L_{ad} , în foni					
		D I N		O N O R M		G O S T	
		zi	noapte	zi	noapte	zi	noapte
1	Industrială	65	5o	65	55	65	5o
2	Rezidenţială	6o	45	6o	5o	-	-
3	Mixtă	5o	35	5o	4o	6o	45
4	Exclusiv de locuinţe	-	-	-	-	5o	35

Nivelul teoretic şi admisibil al zgomotului din aer la interior sînt prezentate în tabelul nr.16.

Tabelul 16

Nivelul admisibil, L_{ad}, al zgomotului interior.

Nr. crt.	Denumirea încăperii	L_t foni	L_{ad} foni la zgomot aerian	L_{ad} foni la zgomot şoc
1.	Camerele de locuit într-un apartament	75	35	40
2.	Bucătăria şi dependinţele sanitare ale apartamentului	80	nu se normează	
3.	Antreu, coridor şi degajamente la locuinţe, cămine şi hoteluri	80	nu se normează	
4.	Camerele de locuit ale căminelor şi hotelurilor	75	35	40
5.	Dependinţele sanitare ale căminelor şi hotelurilor	80	nu se normează	
6.	Casa scărilor fără ascensoare, vestibule, garderobe şi coridoare comune	80	nu se normează	
7.	Casa scărilor cu ascensoare, încăperile maşinilor de ascensor şi camerile de ventilaţie	85	nu se normează	
8.	Sălile comune ale grădiniţelor de copii şi creşe	64	40	40
9.	Săli de lectură, cele pentru fişier sau eliberarea cărţilor	70	35	40
10.	Camerele pentru birouri şi încăperi cu caracter administrativ	80	40	40
11.	Sălile de spectacol ale teatrelor şi cinematografelor	95	45	45
12.	Incăperile din partea de recepţie a teatrelor şi cinematografelor	85	45	45
13.	Magazine şi restaurante	85	50	50

Continuarea tabelului 16

Nr. crt.	Denumirea încăperii	L_t foni	L_{ad}, foni la zgomot aerian	șoc
14.	Săli de curs pentru școli	75	40	40
15.	Camere de bolnavi din complexe spitalicești	60	35	35
16.	Incăperile auxiliare ale clădirilor și încăperilor gospodărești	65	nu se normează	

In fig.157 se prezintă după ISO familia de curbe limită privind criteriile teoretice de zgomot. Limita zgomotului admisibil în încăperi este de 85 dB. Criteriul efectiv al zgomotului corespunde curbei de valoare maximă intersectată de diagrama zgomotului analizat. De exemplu curba C_{50}, în cazul curbei a din fig.157.

Nivelul admisibil al zgomotului interior pentru diverse categorii de clădiri este:

Saloane de spital (noaptea).............25 DIN foni ;
Saloane de spital (ziua)................30 - 40 DIN foni;
Scoli...................................30-40 DIN foni;
Azile de bătrîni........................25-35 DIN foni;
Clădiri de locuit.......................45 dB_A.

Izolarea fonică între două apartamente se consideră asigurată dacă indicele de izolare fonică al peretelui despărțitor, D_{ef}, măsurat pentru un număr suficient de frecvențe, prezintă valorile:

- 35 dB în gama 100............ 500 Hz ;

- 45 dB în gama 500.............1500 Hz ;

- 55 dB în gama 1500........... 3200 Hz ;

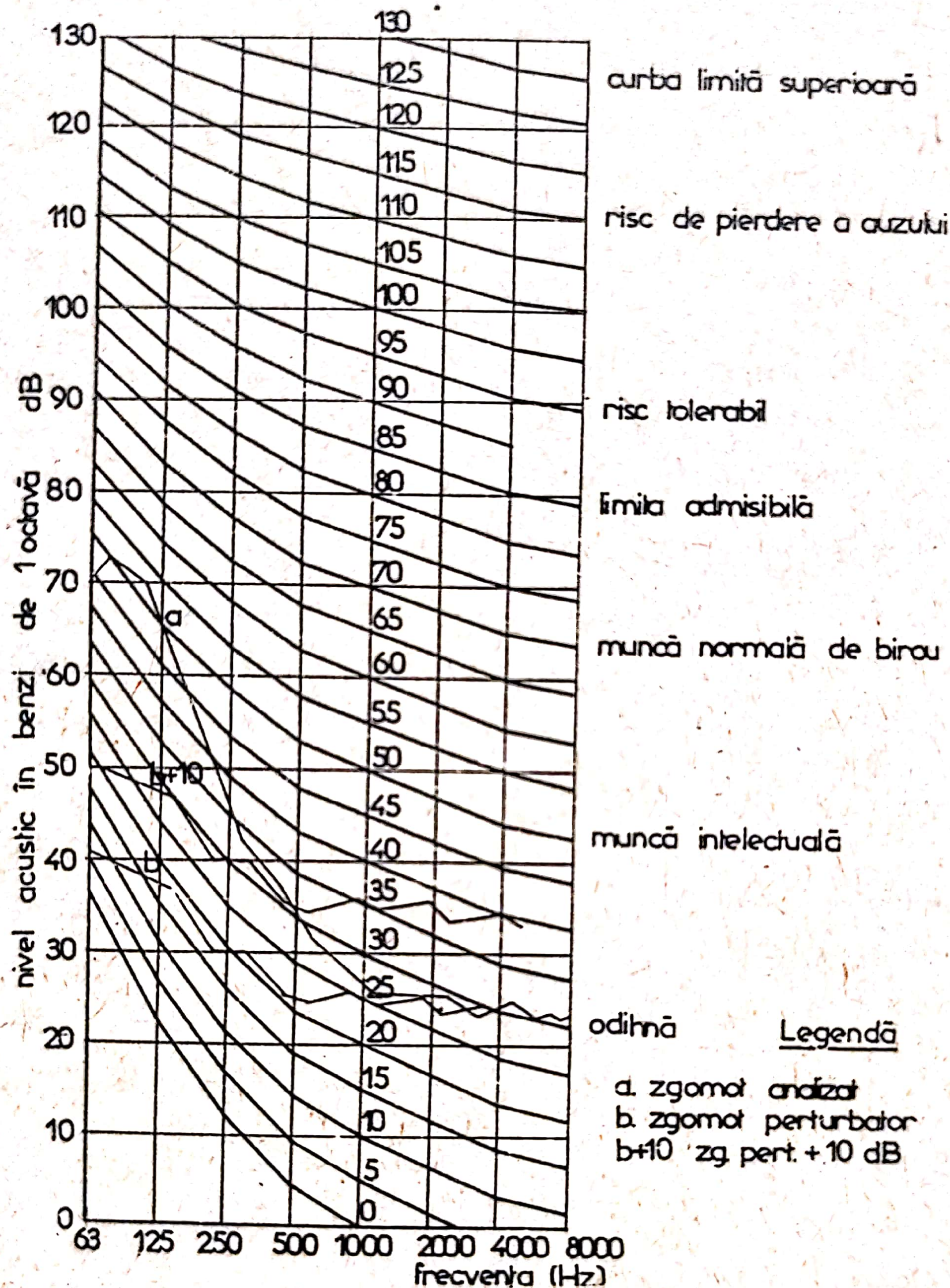


Fig.157. Familia de curbe limită privind criteriile de zgomot conform normelor internaționale

Pentru peretele despărțitor între două încăperi ale aceluiași apartament, indicele necesar de izolare fonică D_{nec}, trebuie să prezinte următoarele valori minime:

- 25 dB în gama 100.............. 500 Hz ;
- 30 dB în gama 500..............1500 Hz ;
- 35 dB în gama 1500............3200 Hz ;

În cazul cînd indicele necesar de izolare fonică la zgomotul aerian, calculat pe baza datelor de mai sus rezultă mai mare de 48 dB se admite a se ţine seama şi de influenţa absorbţiei sunetului din încăperea considerată.

Capacitatea de izolare fonică a uşilor nu poate fi mai mică decît cu maximum 20 dB faţă de capacitatea de izolare fonică a pereţilor în care acestea sînt montate.

Absorbţia sunetului în încăpere se calculează cu expresia:

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i \qquad (306)$$

în care:

- A, absorbţia totală a încăperii, în m^2 ;
- α_i, coeficient de absorbţie al materialului sau al obiectului din încăpere, variabil cu frecvenţa şi avînd valorile prezentate în tabelul 14.
- S_i, suprafaţa elementului din material cu coeficient de absorbţie α_i, în m^2.

Deoarece suprafeţele S_i ce delimitează încăperile prezintă coeficienţi de absorbţie α_i diferiţi, se poate vorbi despre coeficientul mediu de absorbţie acustică α_{med}, definit de expresia :

$$\alpha_{med} = \frac{\sum \alpha_i \cdot S_i}{\sum S_i} \qquad (307)$$

Determinarea micşorării nivelului de intensitate sonoră a unui sunet, ΔL_i, emis într-o încăpere cu absorbţia acustică A_1, după introducerea materialelor absorbante, se estimează cu relaţia:

$$\Delta L_i = 10 . \log \frac{A_2}{A_1} \qquad (308)$$

- A_1, absorbţia totală acustică iniţială, în m^2 ;
- A_2, absorbţia totală după introducerea materialelor absorbante, în m^2.

Absorbţia acustică într-o încăpere, datorită aerului, se poate estima aproximativ cu relaţia:

$$A \cong 0,35 \cdot \sqrt[3]{V^2} \qquad (309)$$

în care:

- V, volumul încăperii, în m^3.

5. Atenuarea zgomotului aerian prin pereţi şi planşee pe baza teoriei ecranelor.

Pereţele sau planşeul pot fi considerate la acţiunea zgomotului aerian, ecrane simple , fig.158 ce separă încăperile între ele sau de mediul înconjurător, pe verticală sau orizontală.

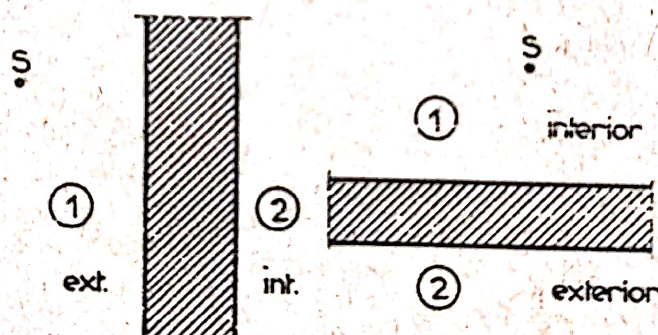


Fig. 158. Peretele şi planşeul, ecrane între două medii.

Intr-o primă aproximaţie, gradul de atenuare acustică al unui element de construcţie la zgomotul aerian, poate fi calculat cu expresia:

$$D = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{E_i}{E_{tr}} \qquad (310)$$

Folosirea relației (306) conduce la valori foarte mari ale atenuării acustice, ceea ce nu reflectă caracteristicile reale ale elementelor de construcție în ce privește capacitatea lor de amortizare a oscilațiilor sonore.

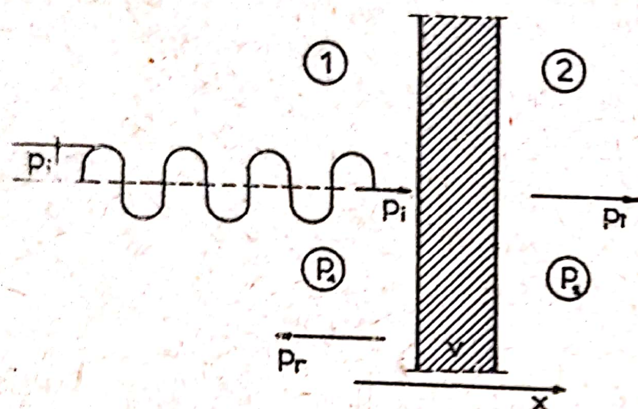


Fig.159. Ipoteza elementului de construcție considerat piston sub acțiunea vibrației aerului.

Intr-o ipoteză mai cuprinzătoare se consideră peretele piston care vibrează sub acțiunea presiunii acustice a aerului din încăpere, fig.159. Considerăm presiunea acustică incidentă p_i, având variație sinusoidală, ce produce vibrații elementului de construcție. In încăperea 1 unde acționează sursa sonoră având presiunea incidentă p_i se suprapune presiunea reflectată p_r, astfel încît în încăpere acționează presiunea rezultantă $p = p_i + p_r$.

In încăperea 2 învecinată, acționează presiunea transmisă $p_2 = p_t$. Deoarece vitezele aerului în încăperile 1 și 2 în vecinătatea elementului de construcție sînt aceleași, în ipoteza că peretele se consideră piston ce vibrează, fără legături pe contur cu celelalte elemente de construcție, se poate scrie ecuația mișcării, în direcția spațiului x :

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 - F_2 \qquad (311)$$

M, fiind masa totală a ecranului, iar F_1 și F_2 sînt forțele totale ce acționează în încăperile 1 și 2.

Dacă se împarte " M ", la suprafaţa " S " a ecranului, se obţine ecuaţia diferenţială a mişcării:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p_1 - p_2 \qquad (312)$$

Să considerăm expresia presiunii p_1 din încăperea 1 şi viteza v a ecranului :

$$p_1 = p_i + p_r \qquad v = v_i - v_r \qquad (313)$$

Multiplicînd termenii din expresia vitezei cu $\rho_o C$ se obţine:

$$\rho_o \cdot c \cdot v = \rho_o \cdot c \cdot v_i = \rho_o \cdot c \cdot v_r \qquad (314)$$

Relaţia (314) se poate scrie:

$$\rho_o \cdot c \cdot v = p_i - p_r \qquad (315)$$

Adunînd relaţiile 313 şi 314 rezultă:

$$p_1 = 2p_i - \rho_o cv \qquad (316)$$

Reluînd, expresia mişcării se obţine :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p_1 - p_2 = 2p_i - \rho_o cv - \rho_o cv \qquad (317)$$

deoarece $p_2 = \rho_o c \cdot v$

In final rezultă:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = 2 (p_i - \rho_o cv) \qquad (318)$$

Cunoscînd că viteza mişcării este $v = \frac{dx}{dt}$, în cazul mişcării periodice, sub forma armonică, complexă, viteza se poate exprima astfel:

$$v = e^{J\omega t}, \text{ în care } J = \sqrt{-1} \qquad (319)$$

iar $\frac{dv}{dt} = J\omega e^{J\omega t} = J\omega v \qquad (320)$

Ecuaţia mişcării se poate pune sub forma :

$$J\omega v m = p_1 - p_2 = 2 (p_i - \rho_o cv) \qquad (321)$$

de unde :

$$2 p_i = \rho_o cv + \frac{J\omega m v}{2} \qquad (322)$$

Expresia coeficientului de reducţie sonoră se poate scrie :

$$D = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{p_i}{p_t} = 10 \log \left[\frac{\rho_o cv + \frac{J\omega mv}{2}}{\rho_o cv} \right] =$$

$$= 10 \log \left[1 + \frac{J\omega m}{2\rho_o c} \right]^2 = 20 \log \frac{\omega m}{2 \rho_o c} \qquad (323)$$

Deoarece $\omega = 2\pi f$, gradul de atenuare fonică a peretelui la zgomotul aerian rezultă :

$$D = 20 \log \frac{2\pi f m}{2 \rho_o c} = 20 \log \frac{\pi f m}{\rho_o c} \qquad (324)$$

Se constată că gradul de atenuare acustică al elementului de construcţie depinde de frecvenţă şi masa elementului de construcţie.

Această relaţie este cunoscută sub denumirea de legea masei care exprimă că gradul de izolare acustică a elementului de construcţie, la zgomotul aerian variază exponenţial cu masa, adică cu 4 dB la fiecare dublare a masei sau a frecvenţei.

Măsurătorile experimentale ale gradului de izolare acustică a pereţilor prezintă valori mai mici în comparaţie cu valorile calculate.

In literatură sînt prezentate numeroase relaţii care exprimă legătura experimentală între gradul de izolare acustică a elementului de construcţie la zgomotul aerian şi greutatea pe m^2.

6. Atenuarea acustică a elementelor de construcție luînd în considerare legăturile pe contur.

Ipoteza pistonului rigid nu corespunde comportării reale a elementului de construcție sub acțiunea oscilațiilor sonore. Datorită încastrării elastice pe contur, aceasta echivalează cu o reducere a masei elementului, cu un coeficient " a ", astfel încît masa redusă a acestuia " m' " este:

$$m' = a \cdot m \qquad (325)$$

Luînd în considerare o variație a masei „m" între 2 şi 453 Kg/m^2, s-a obținut o variație a coeficientului " a ", cuprinsă între 0,2 şi 0,13, independent de frecvență, ceea ce permite să scriem expresia gradului de izolare acustică a peretelui, luînd în considerare comportarea ca o membrană rezemată elastic pe contur, sub forma :

$$D = 20 \log \frac{\omega m a}{2 \varrho c} - 6 \qquad (326)$$

Incastrarea pe contur a elementului de construcție poate aduce o creştere suplimentară a atenuării acustice, de ordinul 15 dB, ceea ce este esențial în ce priveşte confortul acustic.

Un aport deosebit îl aduce Cremer, prin teoria efectului de coincidență. In opoziție cu ipoteza pistonului rigid se consideră că elementul de construcție are o anumită elasticitate, care poate provoca o rezonanță şi deci o scădere a atenuării acustice în zona frecvențelor proprii. Se face deasemenea observația că undele ce cad oblic pe suprafața peretelui şi ies tot oblic cu o atenuare care variază cu unghiul de incidență. O fîşie din perete, sub acțiunea undelor incidente oblic, poate fi asimilată cu o coardă foarte groasă, supusă unor oscilații de flexiune, care prezintă următoarea ecuație a mişcării libere :

$$B \frac{d^2 y}{dx^2} = m \frac{d^2 y}{dt^2} \qquad (327)$$

în care:

- x, abscisa în lungul corzii ;

- y, ordonata normală pe perete, în punctul considerat origine;

- B, rigiditatea la încovoiere, ce poate fi exprimată prin relaţia:

$$B = \frac{E\,I}{1 - \sigma^2} \qquad (328)$$

Mărimea frecvenţei de coincidenţă a elementului de construcţie se poate calcula cu expresia:

$$f_{rez} = \frac{c^2}{2\pi \sin\theta} \sqrt{\frac{m}{EI}} \qquad (329)$$

în care θ este unghiul de incidenţă oblică a undelor sonore.

In funcţie de grosimea „d" a pereteluî, frecvenţa de rezonanţă a peretelui, se poate calcula cu formula:

$$f_{rez} = \frac{\sigma^2}{2\pi \cdot \sin^2\theta \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot 1,2(1 - \nu^2)}{E}} \qquad (330)$$

Fenomenul de coincidenţă trebuie evitat prin aceea ca frecvenţa proprie să fie în afara gamei audibile. Astfel pentru pereţi de masă mare este necesar ca $f_{rez} < 100$ Hz, iar pentru pereţi elastici $f_{rez} > 3200$ Hz.

La ecrane duble (pereţi cu strat de aer), există o frecvenţă de rezonanţă a ansamblului f, şi frecvenţele de rezonanţă f_1 şi f_2 ale ecranului dublu, fig.160.

Frecvenţa de rezonanţă a ansamblului se poate estima pe baza expresiei, fig.161 :

$$f_{rez} = \frac{\rho_o c}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1 + m_2 + m_o}{m_1 \cdot m_2 \cdot m_o}} \leq 75\,Hz \qquad (331)$$

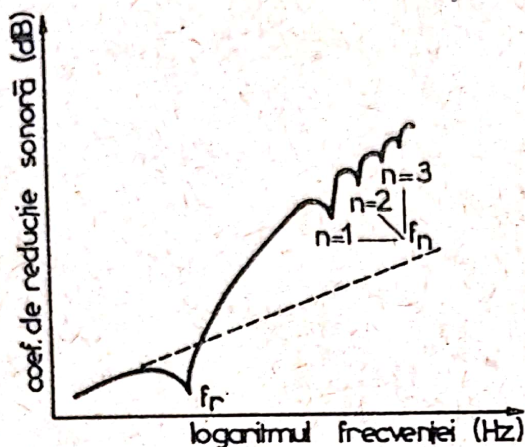


Fig.160. Variația cu frecvența a reducției sonore la un perete dublu pentru o incidență normală a sunetului.

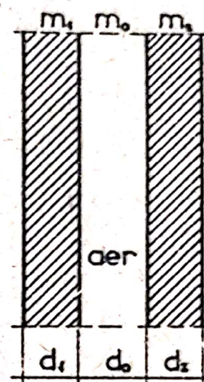


Fig.161. Elementele de calcul ale ecranului dublu.

în care $m_o = \rho_o \cdot d_o$ (aer).

Pentru a obține o eficiență sporită a izolării fonice cu ecrane duble sînt de îndeplinit condițiile:

- Intre elementele peretelui dublu să nu existe legături rigide, astfel ca fiecare să vibreze separat;
- Legăturile între pereți și structura de rezistență a clădirii să fie elastice.

7. Calculul simplificat și determinarea gradului de izolare fonică efectivă, D_{ef} , la zgomotul aerian.

Gradul de izolare fonică efectiv, D_{ef} , a unui element de construcție se poate calcula cu ajutorul unor relații empirice, sau se poate determina prin măsurători pe elemente experimentale, în laborator sau pe cale experimentală, direct în clădiri în func-

ţiune.

Prin calcul, gradul mediu efectiv de izolare fonică al pereţilor şi planşeelor, se poate estima cu relaţiile de mai jos, în funcţie de greutatea pe m^2 a elementului de construcţie :

- Pentru pereţi cu greutatea $q \leq 200\ Kg/m^2$

$$D_{ef} = 13,5 \log q + 13 \qquad (332)$$

în care :

- q, greutatea elementului de construcţie, în Kg/m^2 ;
- pentru pereţi cu greutatea $q > 200\ Kg/m^2$.

$$D_{ef} = 23 \log q - 9 \ ;\ D_{ef} = 18 \log q + 8 \quad \text{sau} \quad D_{ef} = 20 \log q \qquad (333)$$

La pereţi alcătuiţi din două sau mai multe straturi (fig.162), separate cu lamele de aer, gradul efectiv de izolare fonică depinde de transmisia zgomotului pe cale directă, indirectă şi prin rigidizări şi se calculează cu relaţiile :

- Pentru pereţi cu greutatea $q_i \leq 200\ /m^2$

$$D_{ef} = 13,5 \log (q_1 + q_2) + 13 + \Delta D \qquad (334)$$

- Pentru pereţi cu greutatea $q_i > 200\ Kg/m^2$

$$D_{ef} = 23 \log (q_1 + q_2) - 9 + \Delta D \qquad (335)$$

în care:

- q_1 şi q_2, greutăţile straturilor peretelui, în Kg/m^2 ;
- ΔD, aportul de izolare fonică a stratului de aer în funcţie de grosime, conform datelor din diagrama Dürgammer - Kammerer (fig.163).

Pentru evitarea fenomenelor de rezonanţă grosimea stratului de aer la o structură de perete cu 2 straturi, de masă egală, se va lua $d_{aer_{min}} = \frac{1,0}{q}$ (în m) şi la structuri din 2 straturi de masă diferită, $d_{aer_{min}} = \frac{0,5}{q_1}$ (m)

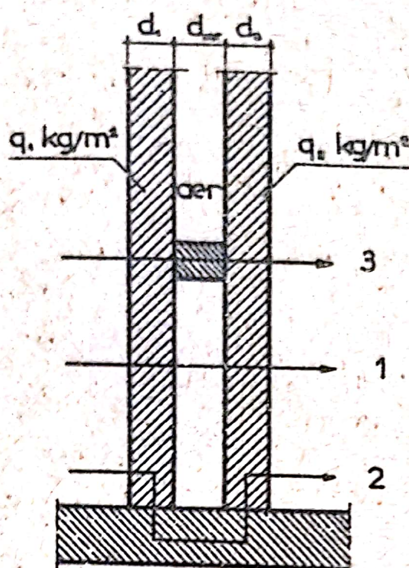


Fig.162. Gradul de izolare fonică la pereţi cu strat de aer: 1,2,3 căile de transmisie a zgomotului (direct, prin îmbinare, prin legături)

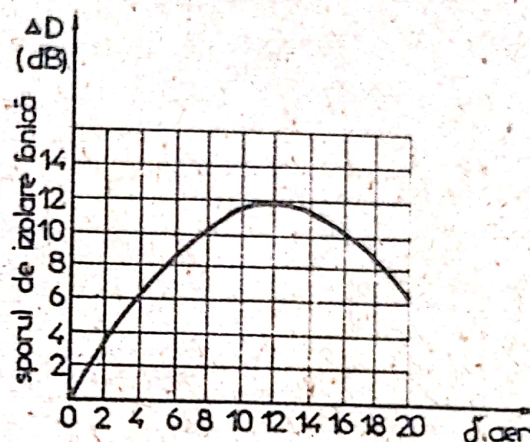


Fig.163. Izolarea fonică a stratului de aer.

Izolarea fonică efectivă a unui perete poate fi estimată şi pe baza legii experimentale a masei, relaţie simplă între indicele de izolare fonică a unui perete simplu şi masa sa.

Se pleacă de la un perete cu masa 100 Kg/m^2 şi se reţine că el are o capacitate acustică medie de 40 dB, la frecvenţa de 500 Hz. Dublînd masa şi plecînd de la orice valoare, gradul de izolare fonică creşte cu 4 dB. De exemplu, un perete cu q = 400 Kg/m^2, prezintă indicele de izolare fonică. $D_{ef} = 40 + 2 \cdot 4 = 48$ dB, iar un perete cu q = 200 Kg/m^2, D_{ef} = 48 db - 4 dB = 44 dB.

Pentru evaluarea gradului real de izolare fonică trebuie să se ia în considerare şi absorbţia sonoră din camera de recepţie.

In acest caz gradul efectiv de izolare fonică rezultă:

$$D'_{ef} = D_{ef} + 10 \log \frac{A}{S} \qquad (336)$$

în care:

- D'_{ef}, gradul de izolare fonică, real, în dB ;
- D_{ef}, gradul de izolare fonică, fără influența absorbției acustice, în dB ;
- A, absorbția acustică totală a încăperii, în m^2 ;
- S, suprafața elementului de construcție pentru care se determină gradul de izolare fonică, în m^2.

Valorile indicilor de izolare fonică, determinați cu relațiile de mai sus, se consideră valori medii pentru frecvența de 500 Hz, care este media geometrică a frecvențelor 50 Hz și 5000 Hz.

Gradul de izolare fonică efectiv, în funcție și de frecvunță, se poate calcula cu expresia:

$$D_{ef} = 18 \log q + 12 \log f - 25 \qquad (337)$$

Frecvența de rezonanță (coincidență) a unui element de construcție, de grosime d, în cm, se poate calcula cu expresia:

$$f = \frac{20.000}{d} \sqrt{\frac{\varrho}{E}} \qquad (338)$$

în care ϱ și E reprezintă greutatea volumetrică aparentă în Kg/m^3 și E, modulul de deformație al materialului în Kg/cm^2.

La pereți cu lamelă de aer se va calcula frecvența de rezonanță a peretelui dublu cu relația :

$$f_{rez} = \frac{120}{\sqrt{q\, d_{aer}}} \qquad (339)$$

în care:

- q , masa totală a peretelui despărțitor din 2 straturi egale, în Kg/m^2 ;
- d_{aer}, grosimea lamelei de aer, în m ;

In cazul straturilor de greutăţi diferite se va folosi relaţia:

$$f = 50\sqrt{\frac{E}{d_{aer}}\left(\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2}\right)} \qquad (340)$$

în care:

- E, modulul de elasticitate dinamic al aerului, egal cu 1,45 Kg/cm^2.

Eficienţa izolării fonice a elementului de construcţie compus este asigurată pentru valori superioare frecvenţei limită, definită de relaţia:

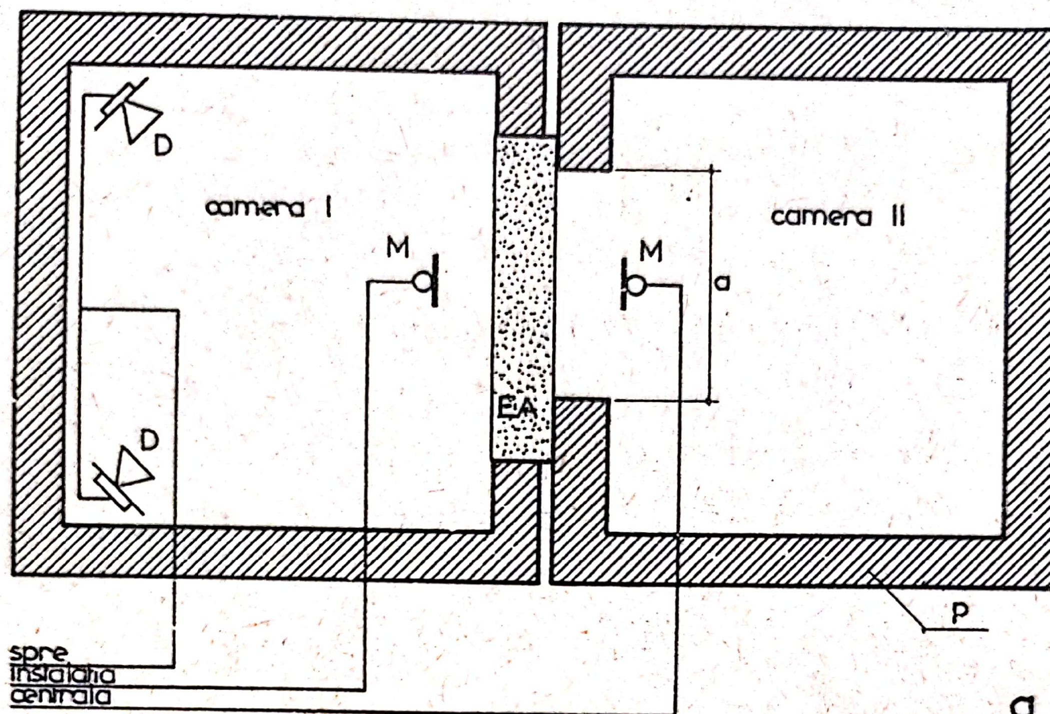
$$f_{lim} = \sqrt{2}\, f_{rez} \qquad (341)$$

Determinarea pe cale experimentală a gradului de izolare fonică se bazează pe emisia sunetelor în domeniul de frecvenţe 100 - 3200 Hz, cu nivel de intensitate sonoră superior nivelului zgomotului atenuat în camera de recepţie. Măsurătorile se pot efectua în camere laborator pe elemente (fig.164) sau la clădiri în exploatare.

In fig.165, se prezintă schema instalaţiei de emisie a zgomotului alcătuită din generator de ton, amplificator, difuzor şi microfon şi schema instalaţiei de recepţie alcătuită din microfon, amplificator, filtru şi fonometru. Prin comutarea instalaţiei de măsurare cu camera de emisie şi recepţie se măsoară nivelele de intensitate L_1 şi L_2 în cele două încăperi I, II.

Microfonul este partea cea mai sensibilă din complexul electroacustic de recepţie. Sînt indicate microfoanele Neumann tip condensator, omnidirecţional, cu caracteristică de liniaritate pentru toate benzile de frecvenţă, etalonate cu ocazia fiecărei măsurători, cu ajutorul unei surse etalon de excitare.

Amplificatoarele nu trebuie să introducă paraziţi la un



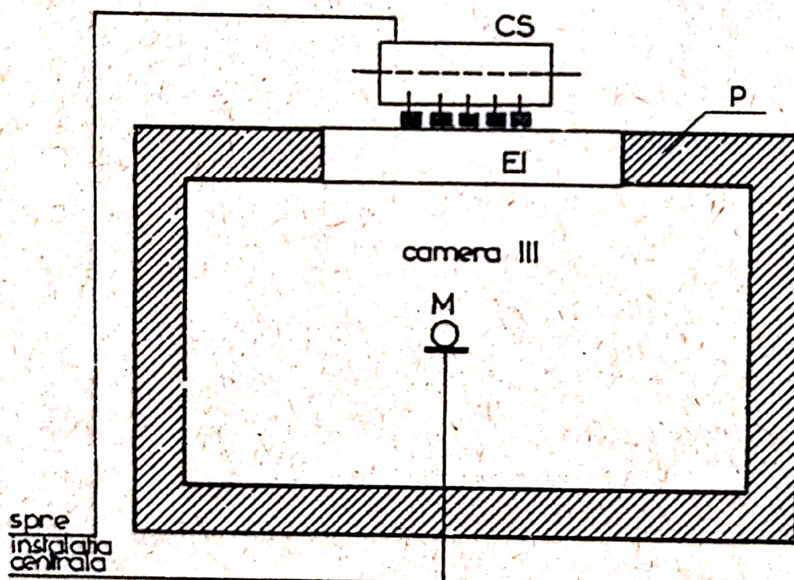


Fig.164. Scheme pentru determinarea gradului de izolare fonică la transmisia zgomotului aerian (a) și de impact (b). D-difuzor; M-microfon; CS-ciocan standard ; EA-element de probă încercat la transmisia zgomotului aerian ; EI-element de probă încercat la transmisia zgomotului de impact; P-pereți cu capacitate de izolare acustică ridicată.

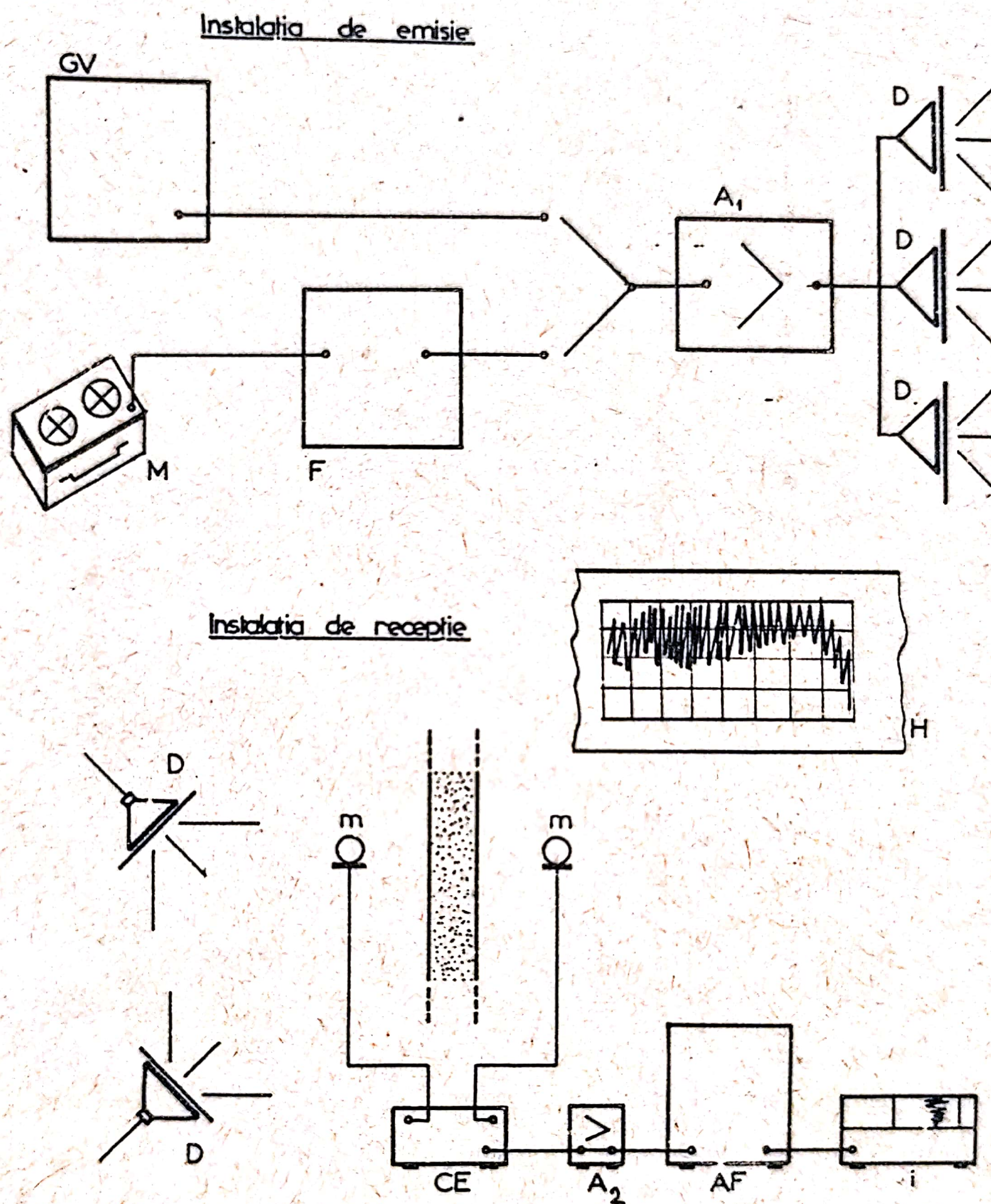


Fig.165. Instalaţia pentru măsurarea gradului de izolare acustică la transmisia zgomotului aerian. GV- generator ton; F-filtru; M-magnetofon; A_1,A_2 = amplificator; D-difuzor ; m-microfon ; CE -comutator; AF-amplificator filtru; i-înregistrator rapid de nivel ; H- oscilograma zgomotului.

nivel care ar perturba sunetele preluate şi amplificate şi să păstreze acelaşi raport de amplificare pentru toate frecvenţele domeniului de lucru.

Difuzoarele joacă rol de traductori care transformă energia acustică şi trebuie să aibă o putere de 12,5....25 W fiecare.

Indicele experimental efectiv de izolare fonică al unui element de construcţie poate fi considerat în următoarele accepţiuni :

- Indicele de izolare brută, care se defineşte ca diferenţa dintre nivelele de presiune acustică medie din încăperea în care se emite sunetul (L_1) şi încăperea în care se recepţionează (L_2), conform cu relaţia :

$$D_b = L_1 - L_2 \qquad (342)$$

Indicele de izolare brută D_b nu caracterizează riguros izolarea fonică dată de elementele de construcţie deoarece nu cuprinde influenţa absorbţiei acustice a încăperii.

- Indicele standard de izolare fonică defineşte izolarea fonică a unui element de construcţie la o încăpere de recepţie cu capacitatea echivalentă de absorbţie de 10 m^2, ceea ce corespunde capacităţii medii de absorbţie acustică la încăperi mobilate normal. Se calculează cu expresia:

$$D_s = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A_o}{A} \qquad (343)$$

în care:

- A, suprafaţa de absorbţie echivalentă a încăperilor de recepţie;

- A_o, suprafaţa de absorbţie echivalentă de referinţă, luată în general egală cu 10 m^2.

Factorul de corecţie $10 \cdot \log \frac{A_0}{A}$ este reprezentat adesea sub o formă echivalentă : $10 \log \frac{T}{T_0}$, în care T_0 este timpul de reverberaţie egal cu 0,5 sec., iar T calculat cu relaţia $T = \frac{0,164 \cdot V}{A}$

în care:

- V, volumul încăperii în m^3 ;
- $A_0 = 10\ m^2$ absorbţia medie a unei încăperi de locuit.

Indicele de izolare acustică sau reducţie sonoră, calculat cu una din relaţiile 344 , 345 :

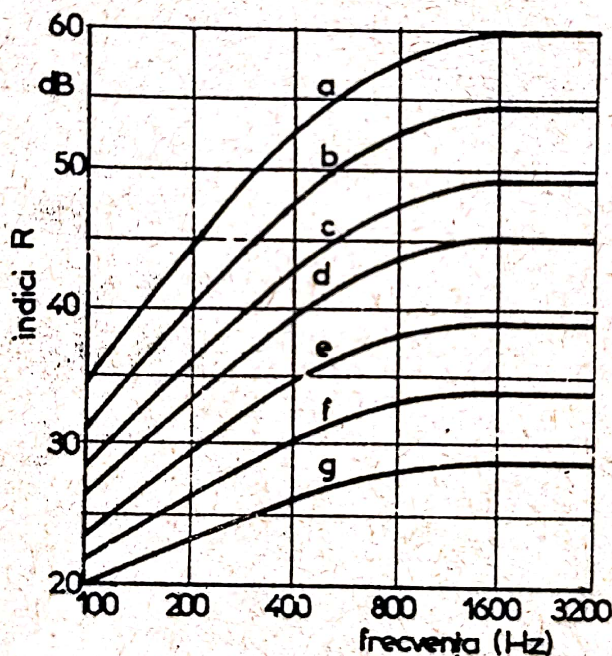


Fig.166. Indici de reducţie sonoră R în funcţie de frecvenţă (valori minime), conform STAS 6156-60. Curbele a,b,c,d, e,f, şi g corespund valorilor medii de 53,48,40,35,30 şi 25 dB. a) pereţi exteriori fără ferestre, la spitale ;b) pereţi exteriori la locuinţe; c) pereţi interiori la spitale ; d) pereţi interiori la locuinţe; e) pereţi exteriori cu ferestre ; f) ferestre duble ; g) uşi duble.

$$R = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_2} \qquad (344)$$

în care:

- W_1, energia sonoră emisă, în dB ;
- W_2, energia recepţionată, în dB.

Cînd peretele separă două încăperi învecinate, indicele de reducţie sonoră este dat de relaţia :

$$R = L_1 - L_2 + 10.\log.\frac{A}{S} \qquad (345)$$

în care:

- S, suprafaţa peretelui, în m^2.

Dimensionarea gradului de izolare fonică la zgomotul aerian constă în verificarea inegalităţii :

$$R \geq D_{nec} \qquad (346)$$

Indicii de reducţie fonică în funcţie de frecvenţă, sînt prezentaţi în graficile din fig.166. Curbele a,b,c,d,e,f,g din diagramă corespund valorilor minime ale indicelui de reducţie fonică pentru frecvenţa de 800 Hz, avînd valorile respectiv 53, 48, 43, 35, 30, 25 dB în funcţie de tipul elementului de construcţie. Rezultatele situate deasupra unei curbe caracterizează zona favorabilă , corespunzătoare elementului de construcţie considerat.

După normele franceze 63-66/964, indicele mediu de izolare standard,pe benzi de frecvenţe trebuie să prezinte valorile minime, la construcţii de locuinţe, astfel :

- 36 dB pentru domeniul 100..........320 Hz ;
- 48 dB pentru domeniul 400....... 1250 Hz
- 54 dB pentru domeniul 1600...... 3200 Hz

La încăperi la care nivelul acustic admisibil este mai ridicat, gradul mediu necesar de izolare fonică se ia 35 dB. La

încăperi la care nivelul acustic admisibil este redus (studiouri, săli concerte), valoarea medie necesară a gradului de izolare fonică se ia 60-65 dB.

Capacitatea de izolare fonică efectivă a elementelor de construcţie, în funcţie de masă este prezentată în digramele din fig.167.

In conformitate cu STAS 6156-60 se prezintă, în tabelele 17 şi 18, valorile indicelor E de atenuare acustică pentru elemente de construcţie în funcţie de natura lor şi destinaţia clădirilor.

In fig.168 se prezintă valorile indicilor D_s determinaţi pe cale experimentală de către catedra de Construcţii de la Institutul politehnic Iaşi, la o clădire de locuit cu structură din beton armat monolit (curba b) şi la altă clădire de locuit cu structură din panouri mari de beton armat (curba c). Se observă că pentru frecvenţe sub 1250 Hz curba izolării fonice standard pentru a doua clădire este situată în zona rezultatelor defavorabile.

8. Atenuarea zgomotului aerian prin ferestre şi uşi.

Atenuarea acustică a pereţilor cu ferestre sau uşi prezintă importanţă deosebită deoarece aceste elemente de construcţie influenţează direct acţiunea zgomotului străzilor, în casele de scări şi din locuinţa însăşi. Tendinţa proiectării unor ferestre şi uşi de dimensiuni mari, din sticlă, subliniază importanţa cunoaşterii caracteristicilor de izolare acustică a pereţilor şi uşilor.

Indicile de atenuare a unui perete combinat cu fereastră sau uşă se calculează cu expresia :

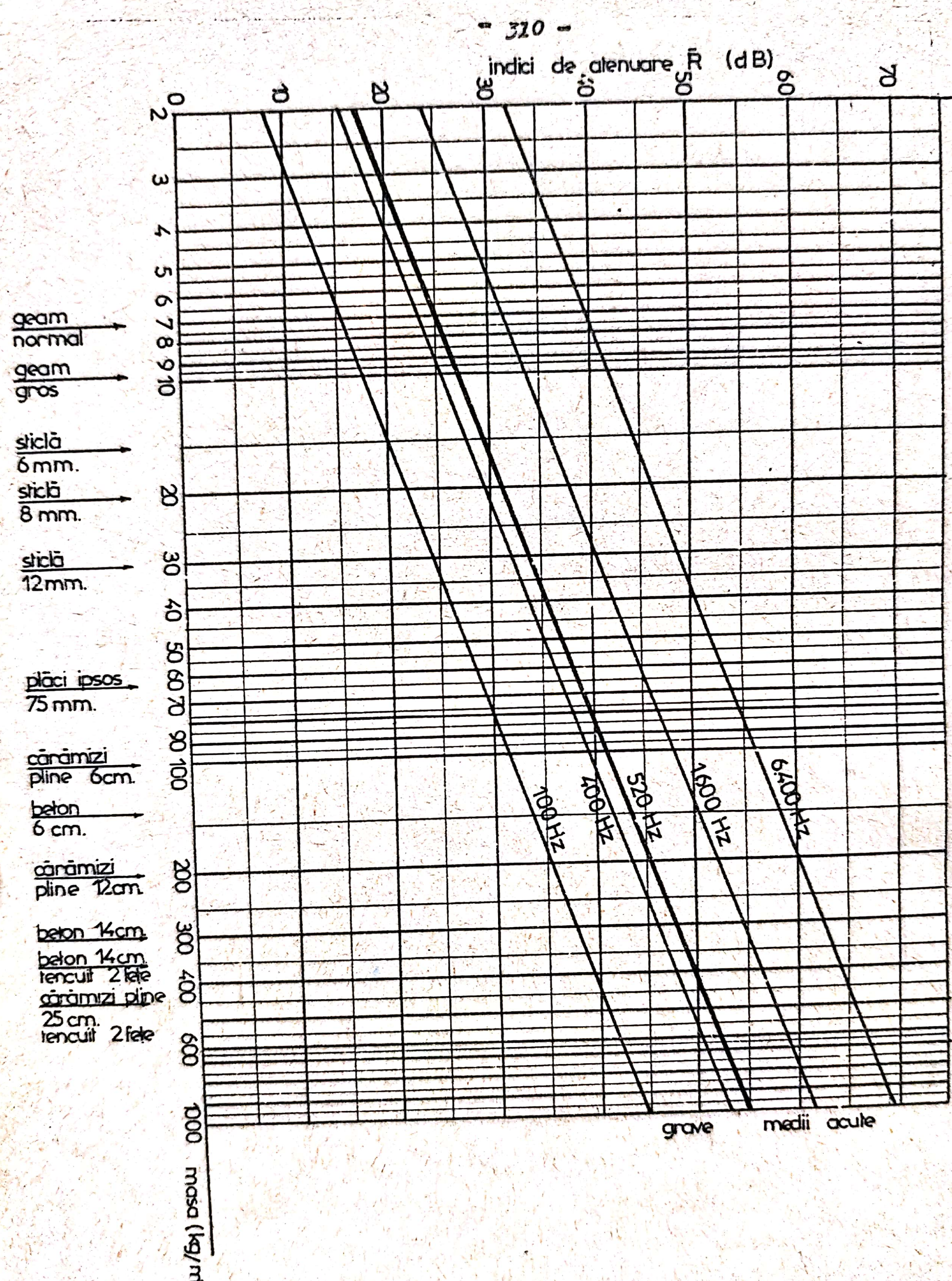


Fig.167. Variația izolării acustice a elementelor de construcție în funcție de masă.

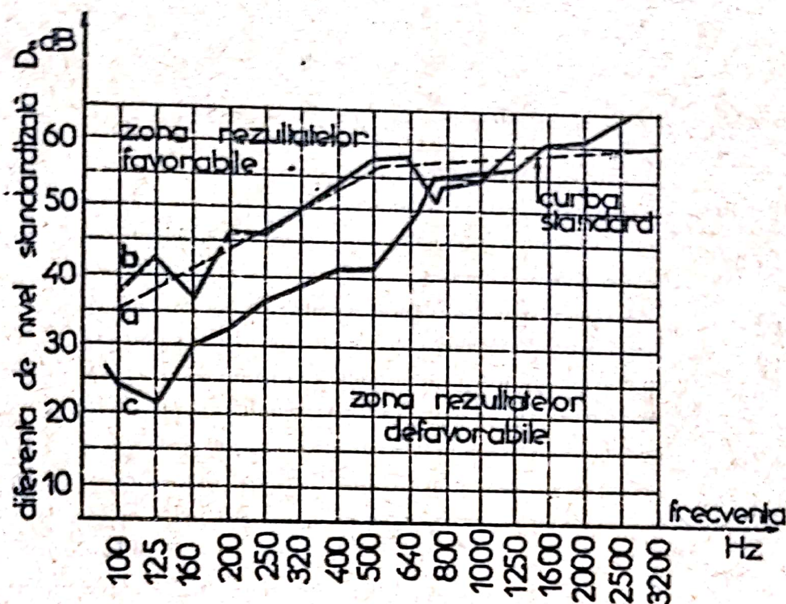


Fig.168. Indici de atenuare la transmisia zgomotelor aeriene pentru blocuri de locuit. a) curba standard ; b) indici D_s pentru bloc de locuinţe cu structură din beton armat monolit; c) indici D_s pentru clădire de locuit cu structură din panouri mari din beton armat.

$$R_t = R_1 - 10 \log \frac{\frac{S_1}{S_2} + 10^{\frac{R_1 - R_2}{10}}}{1 + \frac{S_1}{S_2}} \qquad (347)$$

în care:

- R_t , indicile total de atenuare acustică a peretelui combinat, în dB ;

- R_1 , indicile de atenuare acustică a peretelui fără tîmplărie, în dB ;

- R_2, indicile de atenuare a ferestrei sau uşii, în dB ;

- S_1 , suprafaţa peretelui, fig.169, fără tîmplărie, în m^2 ;

- S_2 , suprafaţa ferestrelor sau uşilor din perete, în m^2.

Dacă se notează cu R valoarea atenuării cu care se diminuează coeficientul de izolare acustică al peretelui datorită tîm-

plărtei se obţine relaţia:

$$R_t = R_1 - R \qquad (348)$$

Pentru cazurile practice este suficientă relaţia aproximativă:

$$R_t - R_2 + 10 \log \frac{S_1}{S_2} \qquad (349)$$

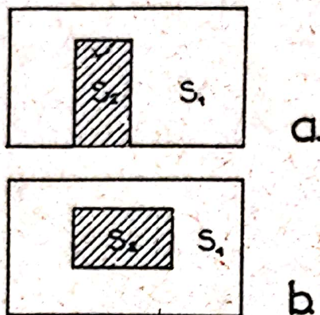


Fig.169. Atenuarea fonică a peretelui cu tîmplărie: a) perete cu uşă: b) perete cu fereastră.

Această relaţie arată că coeficientul de atenuare acustică al tîmplăriei R_2 şi raportul $\frac{S_1}{S_2}$ caracterizează valoarea R_t. Atenuarea totală a peretelui cu tîmplărie poate fi îmbunătăţită esenţial prin îmbunătăţirea atenuării pereţilor şi uşilor. Astfel pentru $R_2 = 0$ şi $\frac{S_1}{S_2} = 10$, $R_t = 10$ dB pentru $\frac{S_1}{S_2} = 3$, $R_t = 5$ dB.

Relaţia de mai sus este valabilă în limitele de aproximaţie de $\pm$ 1 dB

$$1 \leq (R - R_{aprox}) \leq + 1 \qquad (350)$$

în care:

- R, scăderea exactă a atenuării din termenul 2 al relaţiei de mai sus,

- R_{aprox}, scăderea aproximativă a atenuării dată de relaţia:

$$R_{aprox} = R_1 - R_2 - 10 \log \frac{S_1}{S_2} \qquad (351)$$

Acţiunea pereţilor compuşi pentru observatorul din camera ce trebuie protejată acustic este dată de diferenţa de intensitate acustică $D = L_1 - L_2$, dintre camera de emisie şi

de recepţie care la rîndul său e dată de atenuare totală R_t, de suprafaţă $S_1 + S_2$ şi de absorbţia acustică din camera de recepţie conform relaţiei:

$$D = L_1 - L_2 = R_t - 10 \log \frac{S_1 + S_2}{A} \qquad (352)$$

- D, diferenţa de nivel a intensităţii sonore, în dB ;
- L_1 , nivelul de intensitate acustică, în camera de emisie , în dB ;
- L_2 , nivelul în camera de recepţie, în dB ;
- R_t , coeficientul de atenuare acustică a peretelui cu tîmplărie, în dB ;
- S_1 , suprafaţa peretelui fără tîmplărie, în m^2;
- S_2 , suprafaţa tîmplăriei în m^2 ;
- A, absorbţia acustică în m^2, conform relaţiei:

$$A = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (353)$$

Curba de atenuare a peretelui combinat urmează a fi analizată comparativ cu curba admisibilă pentru zgomotul perturbator, fig.170.

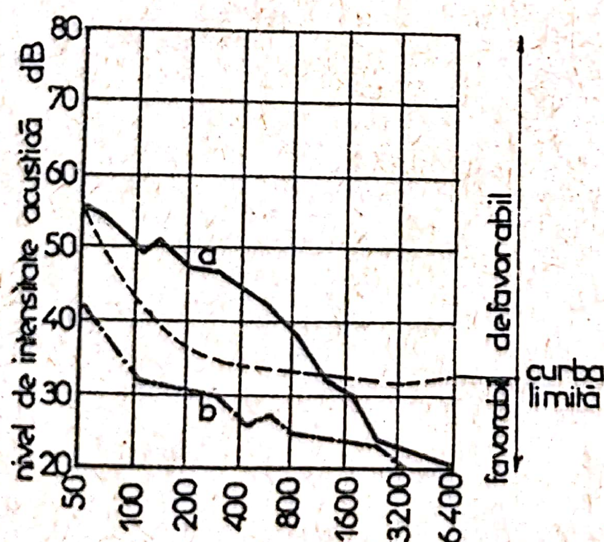


Fig.170. Curba de atenuare acustică admisibilă pentru perete cu tîmplărie

Pentru ridicarea gradului de atenuare acustică a tîmplăriei, a uşilor şi ferestrelor se pot folosi garnituri de etanşare între cercevele, foi şi toc, fig.171, din materiale elastice micşorîndu-se pe această cale acţiunea negativă a punţilor acustice.

Fig.171. Etanşarea acustică a tîmplăriei cu garnituri elastice.
1 - toc; 2- cercevea; 3-geam; 4-chit; 5- garnitură elastică.



Tabelul 17

Valorile indicilor R de atenuare acustică conform STAS 6156 - 60

Nr. crt.	Descrierea elementelor de construcție	Grosimea totală cm	Greutatea totală Kgf/m^2	Indicile de atenuare R (valori medii) dB
1.	Pereți simpli din:			
	Zidărie de cărămizi pline, tencuită pe ambele fețe:			
	- 1/4 cărămidă	10	180	42 x)
	- 1/2 cărămidă	15	240	46
	- 1 cărămidă	28	500	50
	- 1 cărămizi	40	720	53
	- 2 cărămizi	53	950	55
2.	Zidărie de cărămizi găurite pe ambele fețe (găurite numai în interiorul peretelui):			
	- 1/4 cărămidă	10	140	40
	- 1/2 cărămidă	15	210	40
	- 1 cărămidă	28	400	48
3.	Plăci de ipsos cu zgură, tencuite pe ambele fețe	10	140	41
4.	Plăci de beton cu zgură, idem.	10	180	44
5.	Plăci de beton ușor, idem.	10	100	38
6.	Plăci stufit 5 cm grosime, idem.	8	100	40
7.	Două straturi de plăci de stufit, de 5 cm grosime, lipite cu un strat de mortar, tencuit pe fețele exterioare	16	160	46

x) In cazul execuției zidăriei de mortar de ciment și o tencuielilor de mortar de var cu adaos de ciment, indicii R se măresc la 44, respectiv 48 dB.

Tabelul 1C

Valorile normate ale indicilor de atenuare acustică R, în dB în raport cu destinația clădirilor conform STAS 6156 - 60

Nr. crt.	Destinația clădirilor	Pereți exteriori		Pereți interiori						
		plini	cu ferestre și uși	între 2 unități de folosință independente sau spre scară și spații de circulație comune		în cuprinsul aceleași unități de folosință		Planșee intermediare inclusiv pardoseală	Ferestre duble	Uși
				plini	cu uși	plini	cu uși			
1.	Spitale, sanatorii, biblioteci, săli de concert, teatre.......	53	40	53 (48)	40 (35)	45	30	53	35	25 (35)
2.	Alte destinații.......	48	35	48 (43)	35 30	40	25	48	30	20 (30)

De exemplu între două locuințe, între locuință și scară, între cameră de hotel sau de bolnavi și coridor și foaier etc.

De exemplu la locuințe între încăperile aceluiași apartament, la bibliotecă între camerele individuale și sălile de lectură etc.

Numai între camerele de hotel, cămin sau de bolnavi adiacente.

Spre spații de circulație comună.

9. Izolarea fonică la zgomotul de impact.

La planşee zgomotele sînt transmise atît prin aer cît şi prin vibraţiile concentrate determinate de circulaţia persoanelor, mişcarea mobilierului sau funcţionarea instalaţiilor. Capacitatea de izolare fonică a planşeelor la zgomotele din aer depinde de greutatea pe m^2 a elementului de construcţie. In funcţie de greutatea q Kg/m^2, cuprinsă între 15o şi 46o Kg/m^2, gradul de izolare fonică este cuprins între 42 şi 54 dB. In funcţie de frecvenţă gradul necesar al izolării fonice a planşeelor la zgomotul aerian este de 33 pînă la 56 dB pentru domeniul de frecvenţă f = 1oo.....32oo Hz. In general sistemele de planşee de beton armat asigură izolarea fonică necesară la zgomotul aerian.

Pentru micşorarea vibraţiilor prin şoc asupra planşeelor, ce se transmit şi pereţilor, sînt necesare măsuri de amortizare a zgomotelor din circulaţie, ceea ce se poate obţine prin pardoseli pe dală flotantă, fără legături rigide cu restul construcţiei, fig.172.

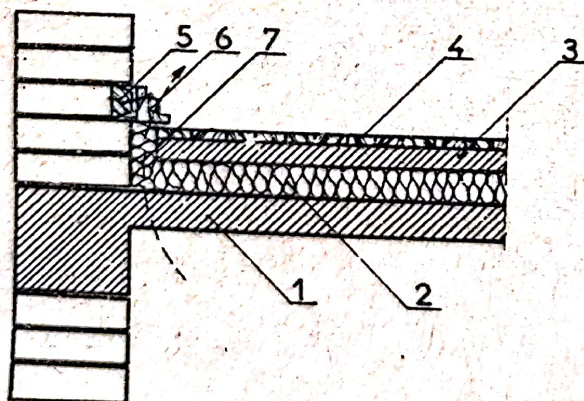


Fig.172. Pardoseală pe dală flotantă;1-planşeu beton armat;2-izolaţie acustică;

Determinarea gradului de izolare fonică la zgomotul de impact se face pe cale experimentală, folosindu-se excitarea sonoră a planşeului cu ciocanul standard internaţional, fig.173.

Ciocanul standard este o maşină acţionată manual sau electric, cu 5 ciocane de cîte 5oo g fiecare, ce cad de la h= 4 cm,cu cadenţa loviturilor de 1o bătăi/s.

3- dală B200,3,5 cm; 4-parchet; 5-diblu;6-pervaz;7-izolaţie verticală.

In camera de recepţie este instalat lanţul electroacustic de recepţie, alcătuit din microfon, amplificator, filtru, fonometru, osciloograf catodic, care împreună alcătuiesc schema spectrometrului acustic.

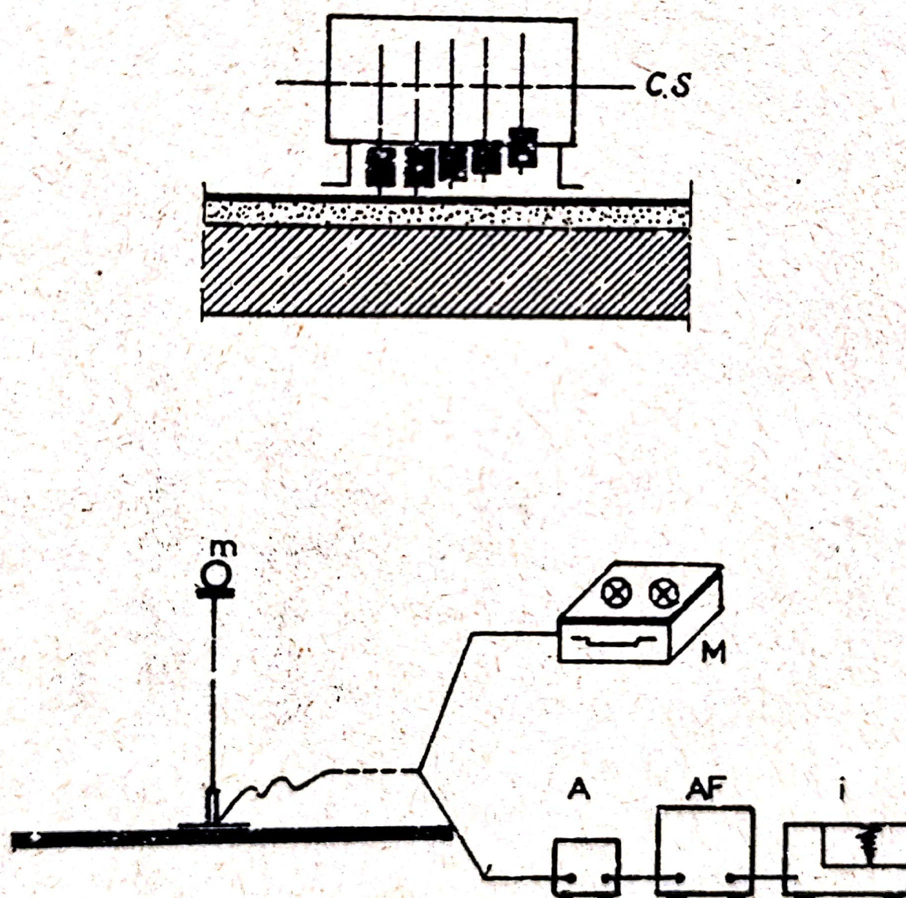


Fig.173. Schemă pentru instalaţia de măsurare la zgomotul de impact. m - microfon ; M-magnetofon ; A - amplificator; i - înregistrator ; AF - sistem de filtre şi comutator automat; C.S - ciocan standard.

Incercarea planşeului se poate face pe structura brută sau după montarea pardoselii determinîndu-se astfel eficienţa fonică a acesteia. Nivelul de intensitate auditivă a zgomotului în camera de emisie se notează cu L_1.

Pentru ca zgomotele produse de circulaţie să nu afecteze confortul în încăperea inferioară este necesar ca nivelul global de intensitate auditivă a sunetului L_2, măsurat în camera de recepţie, cu ajutorul fonometrului să satisfacă relaţia :

$$L_2 \leq 85 - \log A \qquad (354)$$

în care:

A - aria de absorbţie echivalentă în încăperea de recepţie, în m^2.

In fig.174, se prezintă după STAS 6156-60 curba nivelului admisibil a intensităţii sonore a zgomotului de impact, în funcţie de frecvenţă, variind de la 70 la 50 dB pentru valori ale frecvenţei cuprinse între 100 şi 3200 Hz. Rezultatele obţinute sub curba standard caracterizează zona admisibilă.

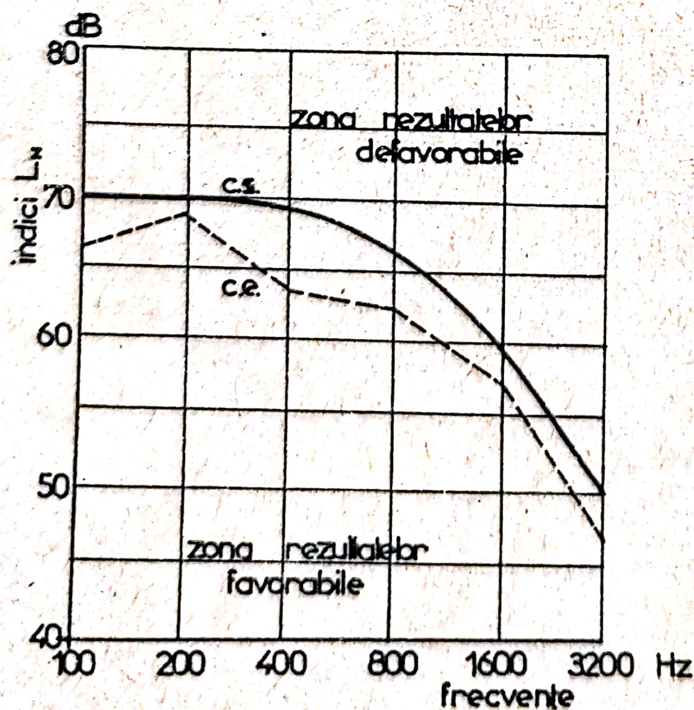


Fig.174. Indici de reducţie sonoră la zgomotul de impact, conform STAS 6156-60. c.s. - curba standard ; c.e. - curba efectivă.

După normele franceze N F S - 31.002, adoptate şi pe scară internaţională, intensitatea zgomotului măsurat în benzi de frecvenţă de 1/3 octavă, în încăperea de recepţie, trebuie să fie sub limitele (fig.175)

- 66 dB în domeniul 100..........320 Hz ;
- 62 dB în domeniul 400.........1250 Hz ;
- 51 dB în domeniul 1600........3200 Hz ;

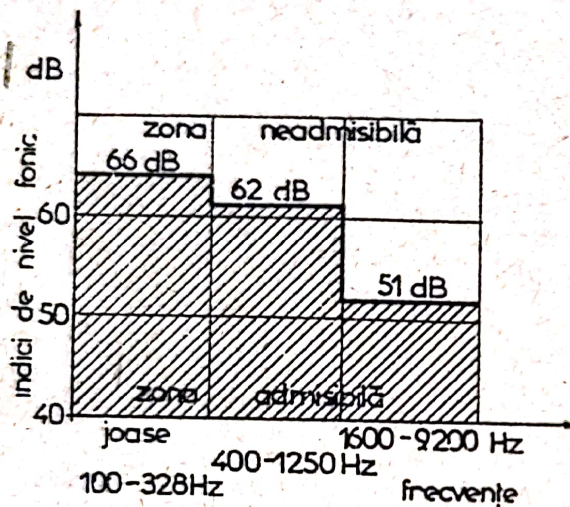


Fig.175. Nivelul admisibil al intensităţii sonore a zgomotului de impact după normele franceze.

Nivelul zgomotului de şoc standard (D_s) se poate determina cu relaţia:

$$D_s = L_2 - 10.\log \frac{A_o}{A} \qquad (355)$$

în care:

- L_2 , nivelul zgomotului în camera de recepţie, în dB ;
- $A_o = 10\ m^2$, valoarea absorbţiei de referinţă ;
- A, valoarea absorbţiei totale în camera de recepţie în m^2.

Dacă se urmăreşte influenţa unei modificări adusă structurii planşeu-pardoseală, se calculează aportul suplimentar de izolare ΔL, cu relaţia:

$$\Delta L = L_{n_1} - L_{n_2} \qquad (356)$$

în care L_{n_1} şi L_{n_2} sînt nivelele zgomotului de şoc standardizat, înainte şi după modificarea structurii, măsurate în aceeaşi încăpere, conform condiţiilor expuse mai sus.

Caracteristicile de izolare fonică a ansamblului planşeu-pasdoseală pot fi apreciate pe cale grafică, comparînd curba re-

prezentînd nivelul zgomotului măsurat, cu curba de referinţă a zgomotului normat, (fig.176). Evaluarea izolării fonice la zgo-

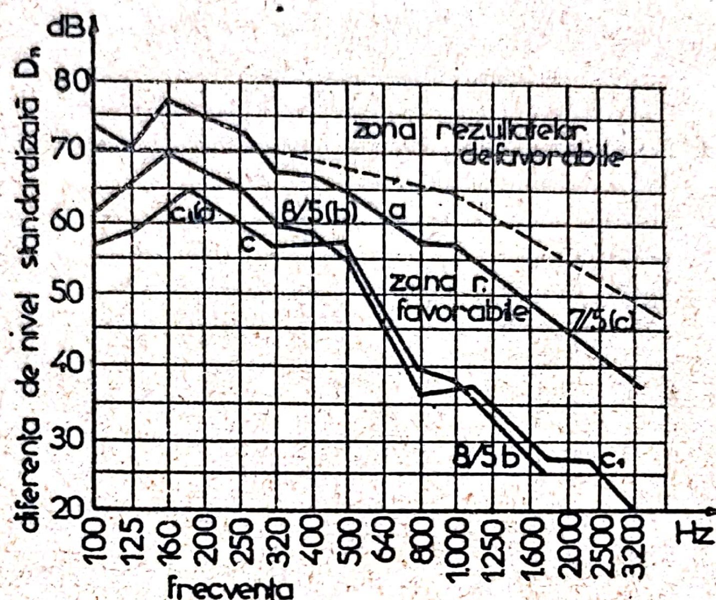


Fig.176. Exemplu de determinare a evaluării izolării la zgomot de impact. 1- curba de referinţă ; 2- curba nivelului zgomotului măsurat; 3- curba de referinţă deplasată cu 9 dB în sens favorabil (E = + 9 dB).

motul de impact se face pe cale grafică, deplasînd curba normată (desenată pe calc) pînă se suprapune cu curbă măsurată şi desenată pe graficul standard, în aşa mod încît depăşirea nafavorabilă medie să fie de 2 dB, adica suma depăşirilor nefavorabile ($\sum h$), măsurate în dB în fiecare treime de octavă, împărţită la 15(numărul total al treimilor de octavă), să reprezinte 2 dB. Evaluarea izolării fonice la zgomotul de impact reprezintă numărul de decibeli care măsoară, deplasarea în sus sau în jos a curbei standard, pentru a se suprapune cu curba măsurată în condiţiile prezentate mai sus. Valoarea obţinută privind evaluarea izolării fonice poate fi pozitivă sau negativă, după cum deplasarea curbei standard se face dinspre zona rezultatelor nefavorabile spre zona rezultatelor

favorabile sau invers.

In fig.176, se prezintă şi rezultatele măsurătorilor atenuării fonice la zgomotul de impact pentru trei soluţii de planşeu-pardoseală, fig.177, la clădiri cu structură din beton armat monolit şi din panouri mari prefabricate. Se constată izolarea mai mică şi insuficientă pentru structura „a", la frecvenţe sub 320 Hz.

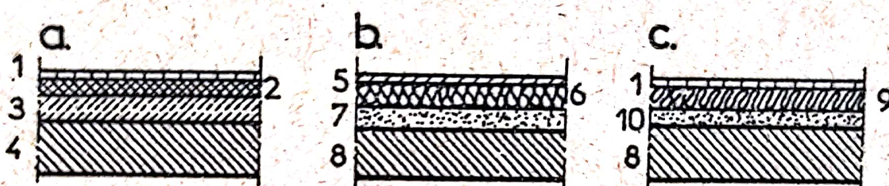


Fig.177. Structuri fonoabsorbante la zgomotul de impact. a - soluţii realizate la blocul cu structură din beton monolit ; b - soluţii realizate în blocul cu structură din panouri mari ; c - soluţii realizate la blocul cu structură fagure, din beton armat. 1 - parchet lamelar (1 cm) ; 2- şapă de mortar (2 cm) ; 3- beton de zgură (5 cm) ; 4 - placă prefabricată din beton armat (10 cm); 5 - parchet de fag (1,7 cm) ; 6- plăci din rumbeton (4 cm) ; 7 - strat de egalizare din nisip (3 cm) ; 8 - placă monolită din beton armat (10 cm) ; 9 - P.F.L. poros (2 cm) ; 10 - strat de egalizare din nisip (4 cm).

Pentru atenuarea zgomotelor din impact se pot folosi în stratul suport al pardoselii, sub dala flotantă, plăci semirigide şi rigide din vată minerală, obţinute la Berceni prin presarea vatei minerale, căreia i s-a adăugat polimeri şi a fost supusă pentru întărire unui tratament termic. Dimensiunile plăcilor sînt 1,20 . 0,6 m şi grosimi 10,15,20,30 mm, ρ = 85...90 Kg/m^3.

10. Acustica încăperilor.

10.1. Fizica sunetului în încăperi

10.1.1. Energia sonoră incidentă şi reflectată. Difuzivitatea sonoră. Ecou.

Bazele fizice ale acusticii încăperilor au fost stabilite iniţial pe cale experimentală. Confirmarea lor teoretică este de dată relativ recentă. In acelaşi timp s-au precizat criteriile psihologice care intervin în proiectarea acustică a încăperilor.

In antichitate oamenii se ocupau în primul rînd cu realizarea acustică a construcţiilor în aer liber, aşa cum este cunoscut la vestitele amfiteatre.

La teatre de vară pentru a se obţine o bună difuzivitate, fig.178, în afară de unda sonoră directă este indicat a se folosi perete de scenă şi podium reflectante, ceea ce contribuie la creşterea intensităţii sonore.

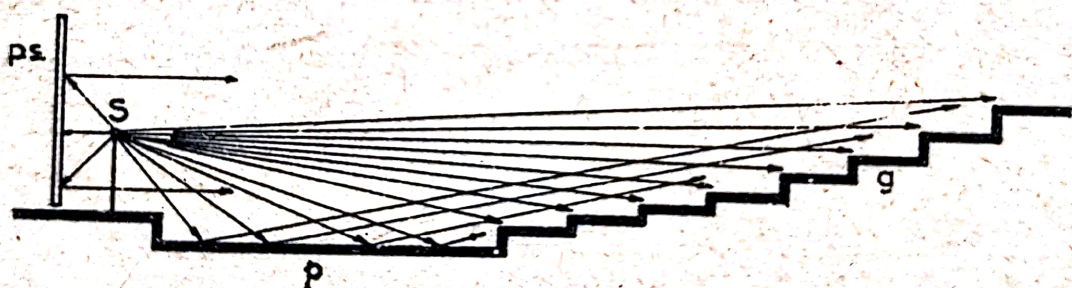


Fig.178. Difuzivitatea energiei sonore la teatre în aer liber. S - sursa sonoră ; p.s. - perete scenă ; p - podium reflectant ; g - gradene ;

Astăzi ne interesează în special propagarea sunetelor în spaţii închise în vederea asigurării condiţiilor optime la cinematografe, săli de concerte, săli de spectacole, teatre, cluburi, auditorii.

Dacă în aer liber legile acusticii sînt mai uşor de aplicat, în spaţii închise este necesar să se cunoască relaţiile fundamentale care leagă undele sonore de caracteristicile spaţiale ale sălilor şi de caracteristicile de absorbţie ale materialelor. Intr-un spaţiu închis, dacă S este sursa sonoră, fig.179, într-un punct A,pelîngă energia incidentă acţionează şi energia reflectată, într-un mod complex

Studii efectuate de Sabine la începutul secolului nostru, au condus la metoda de calcul statistico-geometrică, care permite stabilirea unor relaţii cantitative între volumul, reflexia sau absorbţia acustică a sălilor şi durata de reverberaţie, care exprimă calitatea acustică de bază a încăperilor.

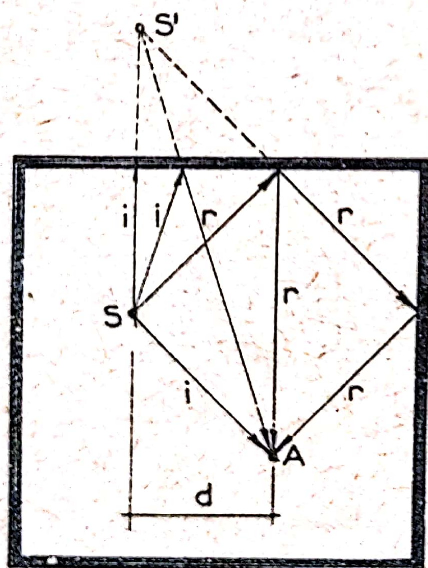


Fig.179. Energia sonoră incidentă şi reflectată într-un spaţiu închis.

In ultimul timp ipoteza cîmpului sonor difuz a permis dezvoltarea metodei statistico-geometrice şi folosirea ecuaţiei undelor pentru studierea criteriilor de apreciere a caracteristicilor acustice ale sălilor.

Una din metodele cele mai expeditive folosite pentru studiul cîmpului sonor într-o încăpere este metoda acusticii geometrice prin analogie cu optica geometrică. Energia sonoră ce caracterizează o undă sonoră ce întîlneşte un obstacol se reflectă în parte, iar o altă parte este absorbită de elementele de construcţie.

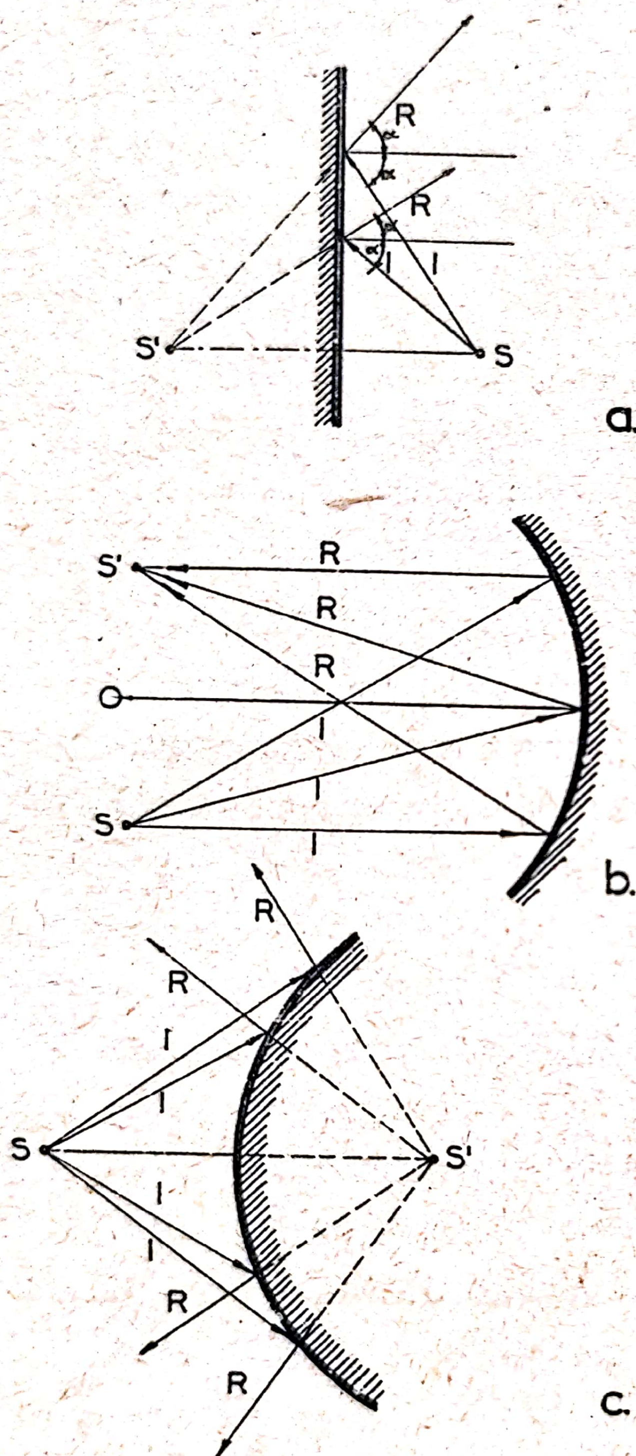


Fig.180. Reflexia undelor sonore. a) suprafaţă plană ; b) suprafaţă concavă ; c) suprafaţă convexă.

Fenomenele de reflexie sonoră, care influenţează acustica încăperilor şi sălilor, depind de dimensiunile obstacolului şi au loc atunci cînd dimensiunile suprafeţei reflectante sînt mai mari ca jumătatea lungimii de undă a sunetului incident.

Natura suprafeţei şi forma acesteia influenţează sensibil fenomenele de reflexie. După forma suprafeţelor pe care acţionează undele sonore, distingem:

- suprafeţe reflectante plane (fig.180-a) ;
- suprafeţe reflectante concave (fig.180 - b) , care concentrează sunetul în zona de intensitate maximă şi minimă ceea ce afectează negativ audiţia în sala respectivă;
- suprafeţe convexe (fig.180 c) , care asigură o împrăştiere a energiei sonore contribuind la difuzia sunetului în încăperi şi la obţinerea unor condiţii acustice optime.

Dacă considerăm un punct A al unui spaţiu închis (fig. 181), obstacolul F , care poate fi peretele sau tavanul şi S sursa sunetului, în punctul A din încăpere poate acţiona energia sonoră incidentă (I) peste care se suprapune energia reflectată (R). Sunetul rezultant este obţinut din sunetul incident şi cel reflectat.

Sunetul reflectat parcurge un drum mai lung (d+d') în comparaţie cu sunetul incident (d - d'). Experienţele lui Gustav Lyon au arătat că datorită inerţiei timpanului, întîrzieri medii de 1/15 s ale undei reflectată faţă de unda incidentă sînt admisibile pentru urechea omenească, fără să apară fenomenul de ecou, caracterizat prin percepţia a 2 sau mai multe sunete distincte. Pentru c = 343 m/s, aceasta corespunde la o traiectorie a undei reflectate cu cel mult 22,5 m mai mare decît traiectoria undei incidente, pentru a se evita ecoul.

In mod normal acest fenomen se manifestă într-un cadru mai larg. Astfel urechea omenească are proprietatea de a percepe o pauză între 2 sunete de 1/10....1/20 s. Două sunete ce vin cu întîrziere mai mare sînt percepute ca două sunete distincte. In 1/10 s sunetul parcurge în aer 34 m, în 1/20 s , 17 m. Aceasta este condiţia geometrică limită pentru evitarea ecoului. Pentru evitarea fenomenului de ecou este deci necesar ca diferenţa dintre drumul razei sonore care ajunge într-un punct după prima sau a doua reflexie

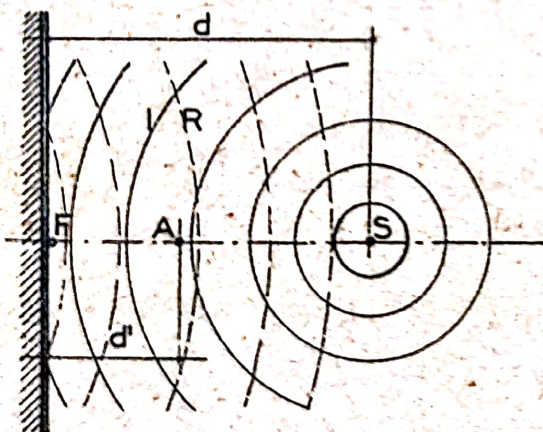


Fig.181. Reflexia sunetului de obstacole plane.

şi drumul razei sonore directe care ajunge în acelaşi punct, să nu fie mai mare de 18 m ; în cazul contrar apare ecoul care poate fi suprimat numai prin tratarea suprafeţei respective cu materiale absorbante. Din punct de vedere al ecoului sălile de spectacole se împart în două categorii care implică şi măsuri constructive diferenţiate :

a) săli mici cu $\ell < 11$ m, fără măsuri de absorbţie acustică;

b) săli mari cu măsuri de absorbţie acustică.

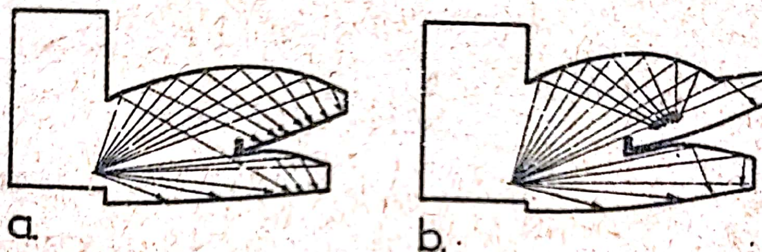


Fig.182. Studiul acusticii tavanului la sălile de spectacole. a) Acustică bună; b) Acustică necorespunzătoare.

In fig.182, se prezintă studii grafice pentru soluţionarea profilului tavanului pe cale geometrică, în vederea evitării ecoului. In fig.183 se analizează forma optimă a tavanului pentru o bună difuzivitate a energiei sonore.

In acelaşi scop se poate interveni modificîndu-se profilul pardoselii, avînd în vedere şi cerinţele de vizibilitate.

Studiul acustic al sălilor de spectacole urmărindu-se o bună difuzivitate sonoră şi evitarea ecoului, necesită studii privind scena, pereţii laterali, longitudinali, peretele de fund, pardoseala şi tavanul astfel cum s-a arătat mai sus.

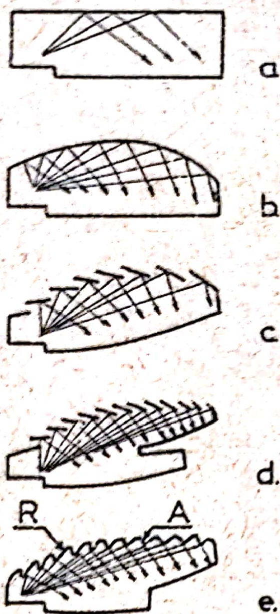


Fig.183. Tipuri de tavane pentru săli de spectacole cu o bună distribuţie a energiei sonore. R-reflectant; A-absorbant.

Astfel limitarea dimensiunilor scenei şi în special a înălţimii ei, fig.184, poate conduce la micşorarea difuzivităţii sonore în sală obţinîndu-se o distribuţie neuniformă a energiei sonore în zona utilă a sălii. Pentru o bună difuzivitate a energiei sonore în sală se pot folosi suprafeţe convexe la tavanul scenei, fig.185, sau la tavan cît şi la pardoseală, fig.186. Pentru evitarea ecoului pe scenă este necesar ca distanţa de la punctul extrem S, fig.187 faţă de peretele de fund al scenei să fie mai mică de 22 m.

Peretele de fund se soluţionează absorbant sau reflectant, avîndu-se în vedere evitarea ecoului şi în acelaşi timp, în funcţie de lungimea sălilor, asigurarea difuzivităţii cîmpu-

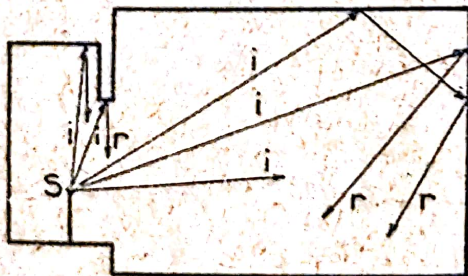


Fig.184. Limitarea nejudicioasă a scenei în secţiune verticală.

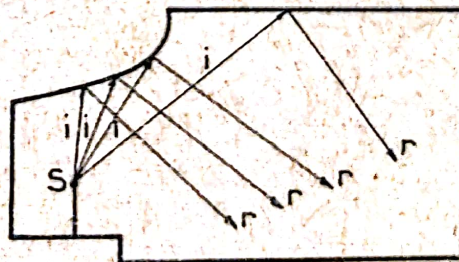


Fig.185. Reflexia energiei sonore de către tavanul convex al scenei.

lui sonor, fig.188 şi 189.

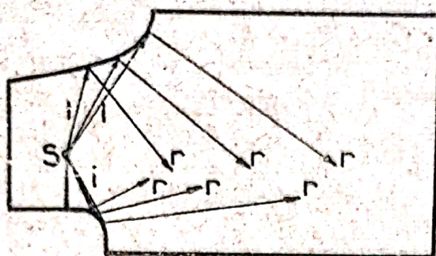


Fig.186. Reflexia energiei sonore de tavanul şi pardoseala scenei.

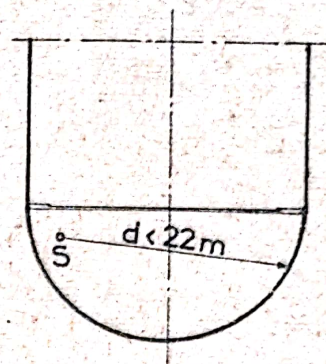


Fig.187. Distanţa limită pe scenă pentru evitarea ecoului.



Fig.188. Soluţionarea profilului de fund al sălii. A-absorbant; R -reflectant.

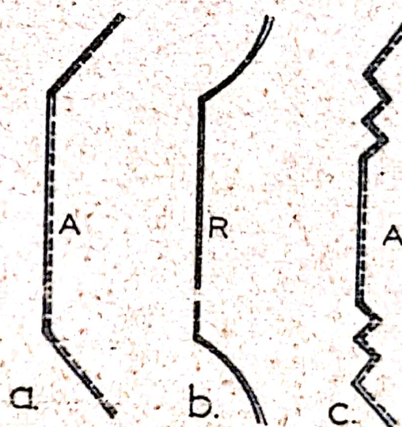


Fig.189. Profilul peretelui de fund al sălii A-absorbant; R-reflectant.

La săli cu pereţi paraleli reflectanţi dacă se consideră distanţele d_1 şi d_2 dela sursa sonoră la pereţi, fig.190, pot interveni două situaţii, în ce priveşte ecoul şi anume:

a) diferenţa de drum $2\ d_2 - 2\ d_1 > 22$ m, cînd apare ecou ;

b) undele ce pleacă din S spre pereţi parcurg drumul $2\ d_1 + 2\ d_2$, întîlnindu-se cu undele reflectate de pereţi şi

fiind în fază se suprapun sporind intensitatea lor de 10...15 ori, dînd naştere fenomenului de ecou-fîlfîială.

Pentru evitarea fenomenului de ecou - fîlfîială se recomandă ca pereţii longitudinali ai sălii, în plan orizontal, fig.191, să nu fie paraleli, iar faţă de verticală este indicată o uşoară înclinare.

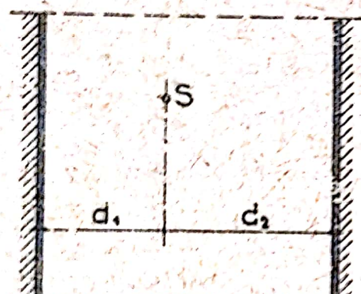


Fig.190. Condiţie geometrică la săli cu pereţi paraleli reflectanţi pentru evitarea ecoului.

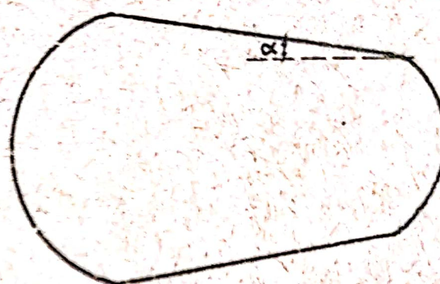


Fig.191. Forma optimă privind secţiunea de plan a unei săli.

10.1.2. Durata de reverberaţie.

In cer liber durata unui sunet emis sub formă de impulsuri este limitată la intervalul Δt, fig.192-a. In încăperi are loc o prelungire a duratei de acţiune a sunetului, fig.192-b, $\Delta t' > \Delta t$ care depinde de caracteristicile de reflexie şi de absorbţie a suprafeţelor interioare ale elementelor de construcţie ce delimitează încăperea. Această calitate a încăperilor de a prelungi durata de acţiune a sunetelor, funcţie de volumul şi absorbţia sălii poartă denumirea de reverberaţie şi se studiază plecînd dela cunoaşterea cîmpului sonor.

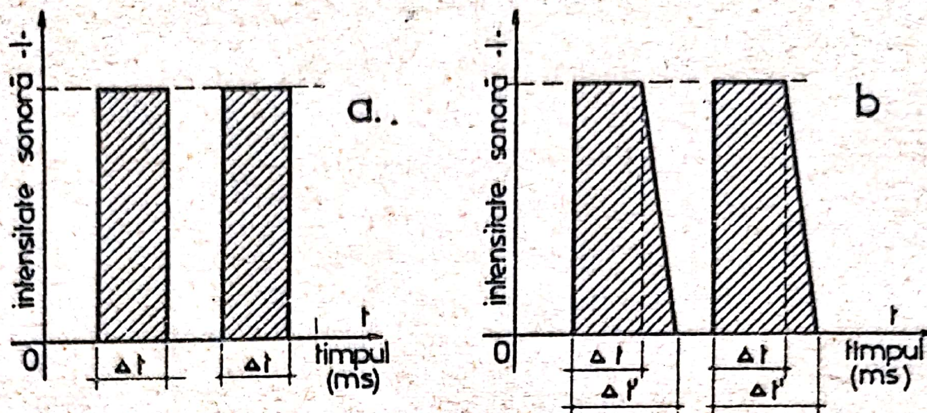


Fig.192 a-b. Durata sunetelor sub formă de impulsuri:

a - în aer liber ; b - în încăperi

In aprecierea caracteristicilor sonore ale sălilor, prezintă interes atît studierea cîmpului sonor cît şi variaţia energiei sonore în funcţie de timp. Studierea cîmpului sonor în săli cu ajutorul ecuaţiei undelor presupune luarea în considerare a ecuaţiei tridimensionale în coordonate rectangulare.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \qquad (357)$$

în care:

- ϕ, funcţie potenţial de viteze ;
- c , viteza sunetului ;
- x,y,z, coordonate rectangulare spaţiale ;
- t, timpul

In cazul undelor plane, ecuaţia cîmpului sonor devine:

$$\phi = c^2 \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \qquad (358)$$

din care se poate deduce viteza particulelor de aer $v = \frac{\partial \phi}{\partial x}$

(359)

Cunoscîndu-se cîmpul sonor într-un spaţiu închis, se poate obţine ecuaţia variaţiei densităţii energiei sonore în încăpere, plecîndu-se de la ecuaţia de bilanţ sonor :

$$V \cdot \frac{dE}{dt} = W - \frac{E \cdot c}{4} \cdot A \qquad (360)$$

Prin integrare se obţine :

$$E = \frac{4 \cdot W}{A \cdot c} \cdot \left(1 - e^{-\frac{A \cdot c}{4 \cdot V} \cdot t} \right) \qquad (361)$$

în care:

- W , puterea emisă de sursă ;
- A , absorbţia suprafeţelor elementelor de construcţie egală cu $\Sigma \alpha S$, în m^2 ;
- V , volumul sălii, în m^3.

In fig.193, se prezintă variaţia energiei sonore în încăpere în funcţie de timp.

In zona I-a are loc creşterea energiei sonore, în zona II-a are loc regimul staţionar, iar în zona III-a intervine scăderea exponenţială a energiei sonore din încăpere.

In zona II-a,

$$E_s \text{ (energia staţionară)} = \frac{4 W}{A \cdot c} \qquad (362)$$

In zona III-a, W = o, deoarece sursa sonoră a încetat.

Datorită reflexiei, sunetul se prelungeşte în încăpere, iar energia sonoră descreşte după relaţia:

$$E_f = E_s \cdot e^{-\frac{A \cdot c}{4 V} \cdot t} \qquad (363)$$

Se admite convenţional să se numească durată de reverberaţie, timpul necesar pentru ca energia staţionară dintr-o în-

căpere să scadă, după încetarea emisiei sursei sonore, la a milioana parte din valoarea ei inițială staționară, adică :

$$\frac{E_f}{E_s} = e^{-\frac{A \cdot c}{4V} \cdot t} = 10^{-6} \qquad (364)$$

Scăderea de nivel a intensității sonore este de $\Delta I = 10 \log 10^6 = 60$ dB. Inlocuind $c = 343$ m/s se obține :

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{A} \qquad (365)$$

în care:

- T, este durata de reverberație, în secunde ;
- V , volumul încăperii în m^3 ;
- A , absorbția acustică, în m^2 ;

Această relație a fost verificată experimental de Sabine, care a stabilit că însușirile acustice ale unei încăperi depind de mărimea duratei necesare amortizării sunetului în interiorul ei.

Durata de reverberație a devenit cel mai valoros criteriu de apreciere a calității acustice a unei săli.

Relația lui Sabine se bazează pe ipoteza absorbției continui a energiei sonore.

Eyring face ipoteza că absorbția energiei sonore se face în mod discontinuu având în vedere caracterul de impuls al sursei sonore și anume ori de câte ori o undă sonoră suferă o reflexie. Pe această bază el ajunge la relația :

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-A \log_e(1 - \alpha)} \qquad (366)$$

Ca urmare a reverberației, într-o sală, spre deosebire de aerul liber, sunetele vorbirii apar mai pline, mai sonore, iar muzica mai colorată.

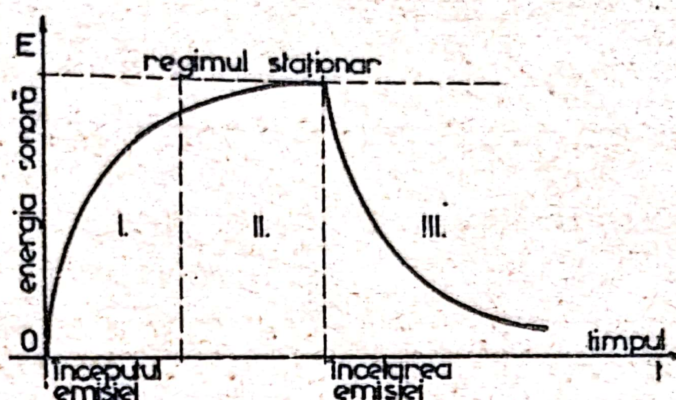


Fig.193. Variaţia energiei sonore într-o încăpere

Dacă T este mic, audiţia devine neplăcută, înfundată, vorba e lipsită de sonoritate şi muzica de culoare.

Dacă T este mare, vorba şi muzica nu sînt percepute clar.

Dacă prelungirea duratei sunetului este prea mare se constată o mascare a acestuia, ceea ce dăunează bunei audibilitate, fig.194.

La încăperi cu capacitate mare de reflexie are loc o creştere excesivă a reverberaţiei, fig.195, ceea ce afectează negativ inteligibilitatea sălii.

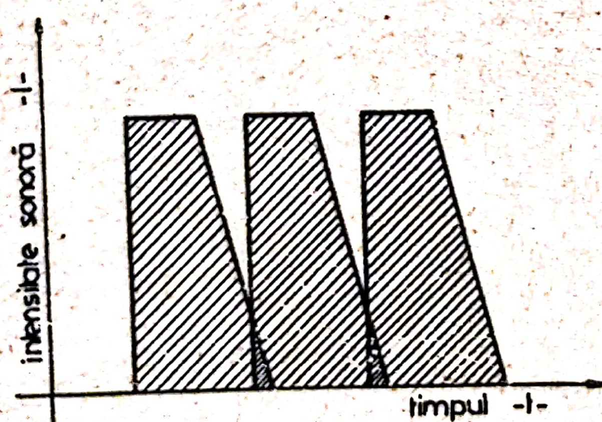


Fig.194. Mascarea parţială a sunetului datorită reverberaţiei

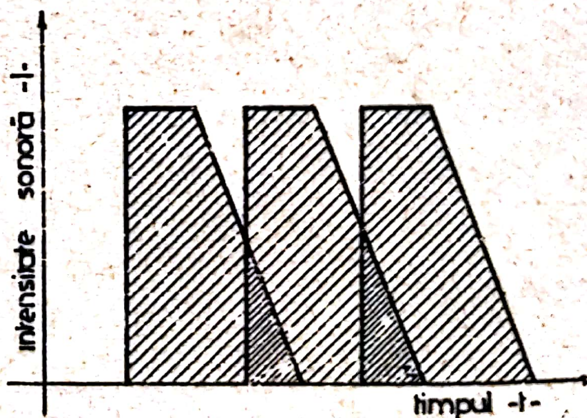


Fig.195. Creşterea excesivă a reverberaţiei

Fenomenul de reverberaţie este pozitiv în măsura în care sporeşte intensitatea sunetului dînd culoare şi sonoritate cuvîntului şi muzicii şi este negativ cînd printr-o prelungire prea mare a duratei sunetului conduce la mascarea sa.

Există o durată optimă de reverberaţie (T_{optim}), funcţie de destinaţia sălii.

Pentru săli de concerte, valoarea duratei optime de reverberaţie se poate calcula cu relaţia :

$$T_{optim} = 0,41 \log \sqrt[3]{V}. \qquad (367)$$

In funcţie de tipul sălii, volumul sălii, T_{optim} poate fi cuprins între 1,2 şi 2,5 s, fig.196. In funcţie de frecvenţă, durata de reverberaţie este cuprinsă între 0,8 şi 4,6, fig.197.

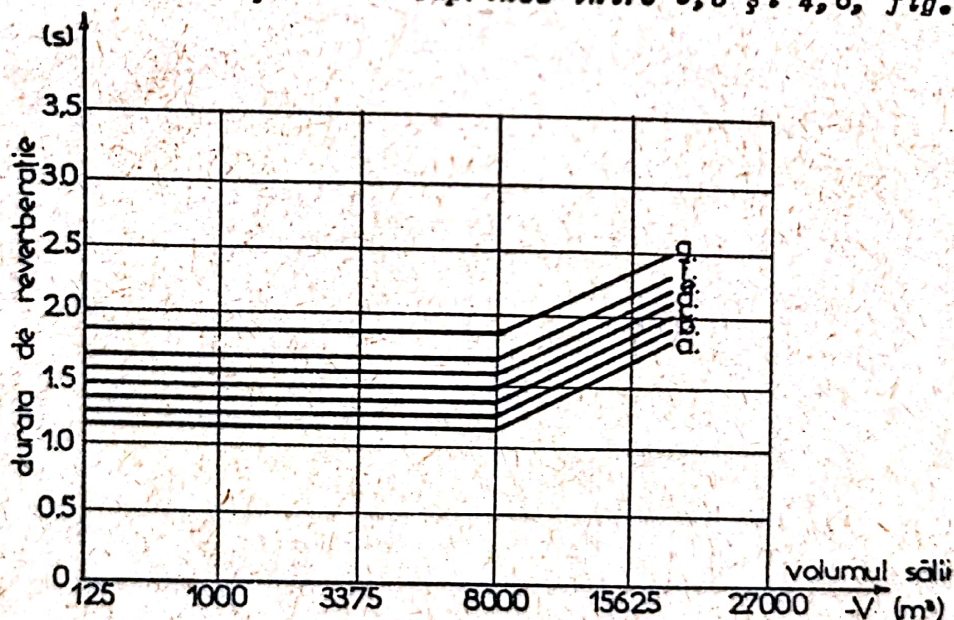


Fig.196. Durata optimă de reverberaţie în funcţie de volumul şi destinaţia sălii.

Dimensionarea constă în luarea în considerare a relaţiei:

$$T_{ef} \cong T_{opt} \qquad (368)$$

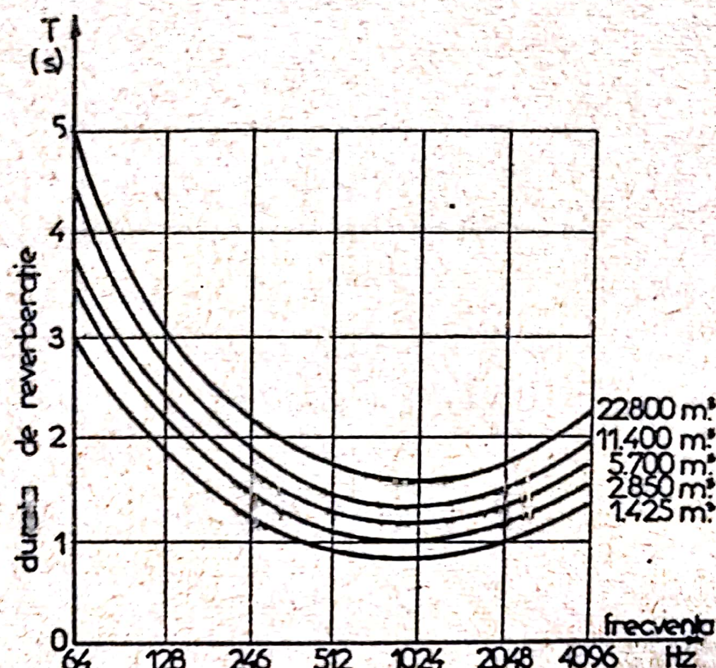


Fig.197. Durata de reverberaţie în funcţie de mărimea sălii şi frecvenţă.

Prin soluţia constructivă şi prin folosirea absorbanţilor este recomandabil a se obţine o durată de reverberaţie care să nu varieze cu frecvenţa. Condiţiile de audiţie în săli, funcţie de T, variază astfel:

$0 < T < 0,5$ s, emisiunea este neplăcută ;

$0,5 < T < 1$, audiţia îmbunătăţită ;

$1 < T < 2$, neplăcerea şi oboseala sînt abea simţite ;

$2 < T < 4$, cîntăreţul se simte bine şi se ascultă cu plăcere pe el însuşi.

Pentru determinarea caracteristicilor acustice ale unei săli se foloseşte ca sunet de emisie zgomotul complex cu caracteristicile din fig.198, stabilit de Institutul de Fizică al Academiei R.S.România.

In fig.199 se prezintă schema electrică a lanţului electroacustic, care în cazul unei baze de tip logaritmice a analizatorului de frecvenţă permite ca luînd în considerare atenua-

rea liniară a intensității sonore a sunetului emis în încăpere să se determine timpul în care are loc scăderea cu 60 dB, pentru diferite benzi de frecvență, în domeniul 100...3200 Hz, obținîndu-se astfel duratele de reverberație respective.

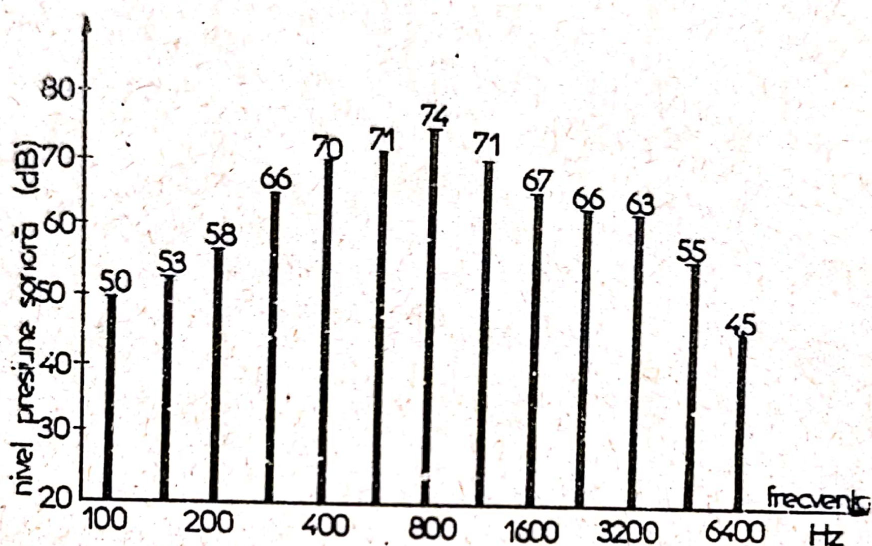


Fig.198. Caracteristicile unui zgomot complex utilizat de Institutul de Fizică al Academiei R.S.R., pentru măsurători acustice.

Scăderea intensității sonore după Sabine are loc liniar, fig.200 a, reflectînd diagrama experimentală, fig.200 b, obținută cu ajutorul înregistratorului rapid de nivel.

Alte criterii de calitate privind acustica sălilor sînt:

- inteligibilitatea, prin care se apreciază calitățile acustice ale sălilor destinate producției vorbite și se exprimă prin procentul de articulație PA care este definit de procentul de logatomi corect înțeleși ;

- difuzivitate, prin care se apreciază omogenitatea și izotropia cîmpului sonor.

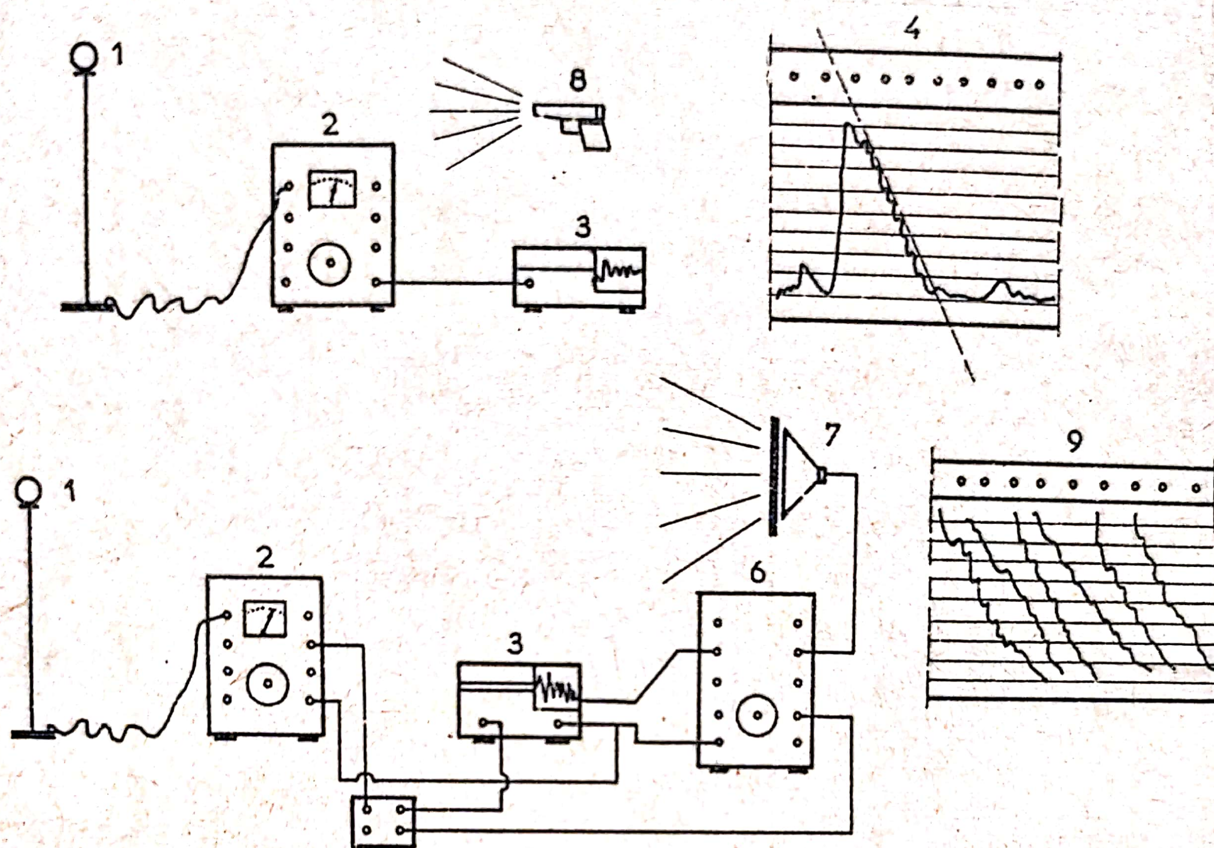


Fig.199. Schema instalaţiei electroacustice pentru determinarea duratei de reverberaţie: a - schema cu sursa de zgomot prin împuşcătură; b - schema cu difuzor cu sursă de zgomot; 1 - microfon; 2-analizator de zgomot; 3 -înregistrator rapid de nivel; 4 - bandă cu înregistrarea fenomenului de reverberaţie; 5-comutator de reverberaţie; 6 -generator de sunet vobulat; 7 - difuzor; 8 - pistol cu gloanţe oarbe, 9 - bandă cu înregistrarea fenomenului de reverberaţie în benzi de 1/3 octavă.

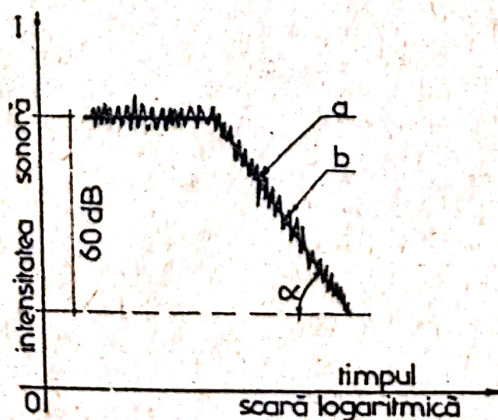


Fig.200. Scăderea intensităţii sunetului în încăperi reverberante.

a) analitic după Sabine ;

b) experimental prin înregistrare la hipsograf.

10.2. Principii de proiectare acustică a sălilor.

Volumul sălilor se determină în funcție dd numărul auditorilor și destinație, astfel:

- la săli de muzică, 5....7 m^3/spectator și $V < 30.000\ m^3$;
- la săli de conferințe, auditorii, 3...5 m^3 auditor și $V < 30.000\ m^3$;
- la săli de cinematograf, 2,5....3,5 m^3/spectator ;

La sălile la care reverberația depinde de absorbția dată de spectatori și în mai mică măsură de tratamentele acustice, volumul necesar pentru un spectator, exprimat în m^3, în funcție de T, exprimat în secunde, este:

$$v = 3T \qquad (369)$$

Volumul total al sălii rezultă ;

$$V = N.v \qquad (370)$$

în care:

- N, numărul de spectatori.

La studiul acustic al sălilor mari este necesar să se ia în considerație următorii factori:

- dimensiunile sălii;
- forma generală a sălii ;
- forma suprafețelor elementelor de construcție ;
- mărimea suprafețelor ;
- natura suprafețelor ;
- volumul sălii ;
- gradul de ocupare a sălii ;
- natura finisajelor și a îmbrăcăminților interioare absorbante.

Calitatea acustică a unei săli depinde de frecvențele proprii ale acesteia, de fenomenul de rezonanță, funcție de caracteristicile de frecvență proprii, f_1, f_2, fig.201.

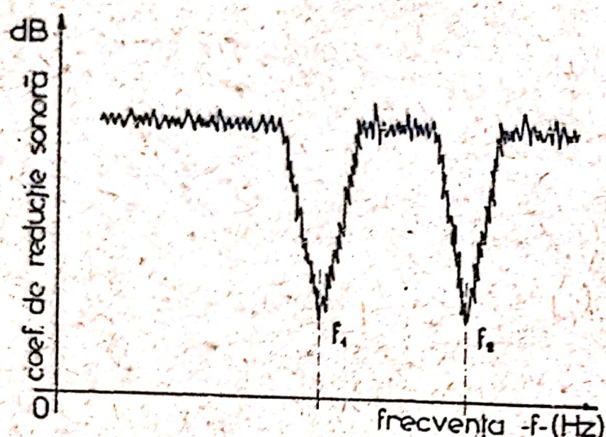


Fig.201. Frecvențe de rezonanță ale unei săli.

Frecvențele proprii și undele staționare, care se formează într-o încăpere, influențează modul de amortizare al sunetului și dau efecte supărătoare ce pot fi eliminate printr-o alegere judicioasă a dimensiunilor sălilor și evitarea paralelismului pereților longitudinali, a tavanului și pardoselii.

Intre dimensiunile unei săli se recomandă raporturile indicate în cele ce urmează:

Tipul încăperii	Inălțime	Lățime	Lungime
- mică	1	1,25	1,6
- medie	1	1,6	2,5
- cu tavanul jos	1	3,5	3,2
- lungă	1	1,25	3,2

Lungimea maximă a sălilor se recomandă :

18 m pentru săli de conferințe ;

22 m pentru săli de teatru ;

35 m pentru săli de concert.

Forma de plan recomandabilă este cea dreptunghiulară sau trapezoidală, fig.202.

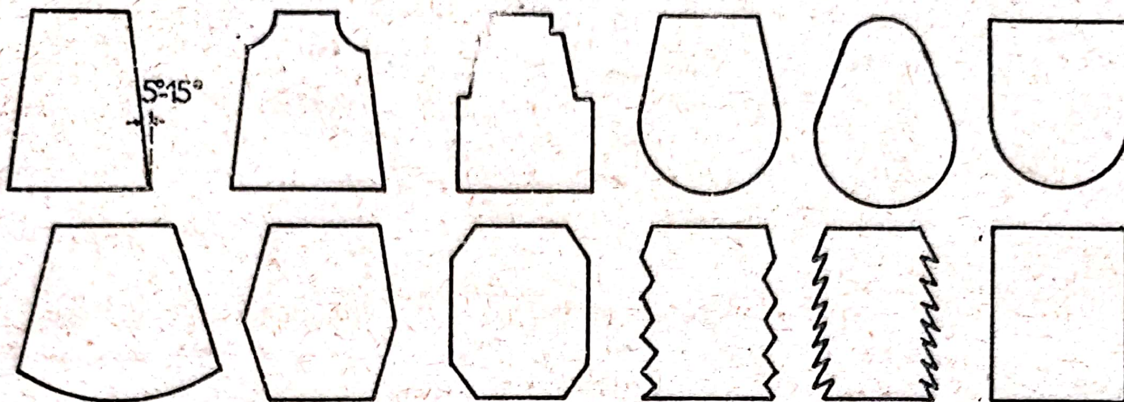


Fig.202. Forme în plan a sălilor.

La pereţi laterali se admit înclinări ce variază între 5° şi 15°.

Defectele acustice ale formei plane rectangulare pot fi corectate prin curbarea pereţilor laterali pe porţiunile din imediata apropiere a sursei sonore, fig.203.

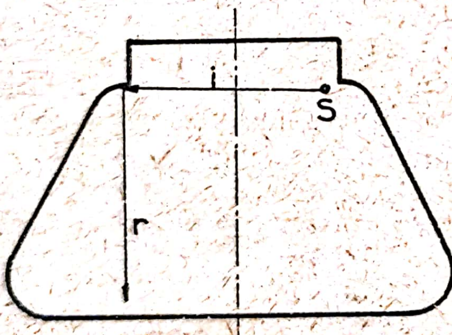


Fig.203. Curba pereţilor laterali

Formele curbe cu convexitate îndreptată spre interiorul sălii sînt avantajoase în ceea ce priveşte dispersarea cîmpului sonor.

Secţiunile transversale cu concavităţile îndreptate spre sală sînt periculoase datorită concentrărilor de sunet pe care le produc.

La săli mari este indicat să se evite paralelismul între tavan şi pardoseală prin realizarea unor suprafeţe dinţate, fig.204, avînd în vedere ca $\ell > \lambda$; $\theta \geq 5°$ (fig.205).

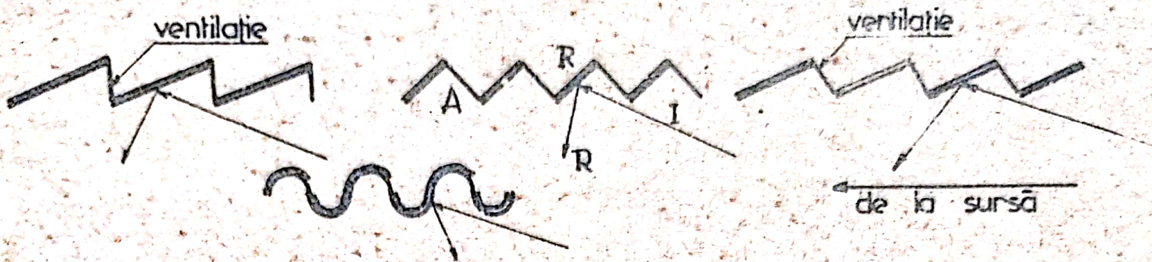


Fig.204. Forme ale tavanului sălilor.

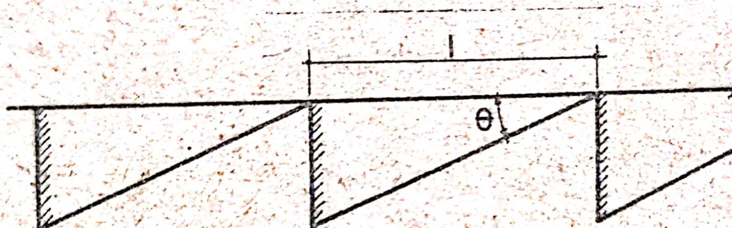


Fig.205. Profilul tavanului.

Pătrunderea lojelor în sală este limitată pentru a nu stînjeni audiția sub consola acestora, fig.206.

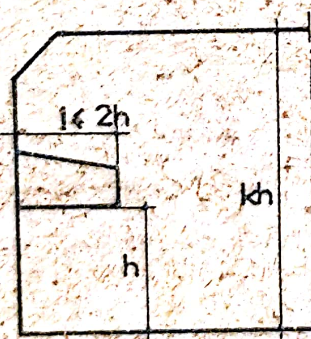


Fig.206. Deschiderea și înălțimea optimă a lojelor.

Se constată în aceste cazuri slăbirea intensității sonore sub balcon, conform relației:

$$\Delta L = 20 \log \frac{1 - K}{2 \quad K} \qquad (371)$$

în care K este raportul între înălțimea balconului, avînd valori între 2 și 6 ceea ce determină scăderi ale nivelului ΔL între 0,5 și 3,2 dB, tabelul 19.

Tabelul 19

Scăderea ΔL sub balcoane în funcţie de K

Valorile coeficientului K =	2	3	4	5	6
Scăderea de nivel acustic, dB, ΔL=	0,5	1,25	2	2,6	3,2

Micşorarea intensităţii sonore este mai mare dacă înălţimea balconului scade. Scăderea energiei sonore este mai intensă spre partea de fund a balconului, conform unei legi exponenţiale:

$$\Delta W = e^{-a\ell} \cdot W \qquad (372)$$

Micşorarea nivelului de intensitate sonoră este dată de relaţia :

$$\Delta L = 10 \log e^{a\ell} \qquad (373)$$

în care: $$a = \frac{\Sigma \alpha_i \cdot S_i}{h + \Sigma S_i} \qquad (374)$$

Pentru ca slăbirea intensităţii sunetului sub balcon să fie sub 3 dB, se recomandă $K < 3$ şi $\ell \leq 2h$.

Fundul balconului şi suprafaţa verticală a grinzii de balcon se recomandă a fi tratate fonoabsorbant, fig.207.

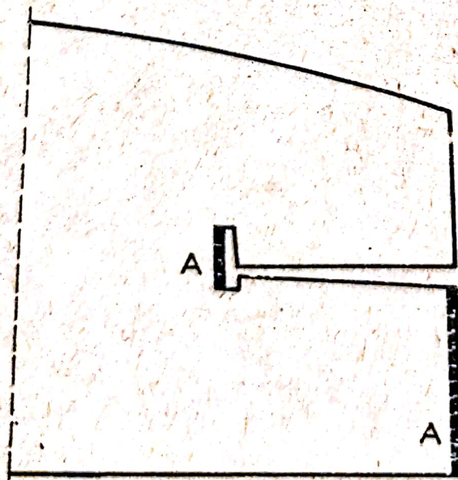


Fig.207. Tratarea cu material absorbant A, a fundului balconului şi a grinzii de balcon.

Pentru a se asigura buna audibilitate la balcon este necesar să se asigure dirijarea fluxului sonor folosind suprafeţe reflectate înclinate, fig.208.

In vederea obţinerii unui cîmp difuz în sală, se pot adopta soluţiile de pereţi laterali indicate în fig.209.

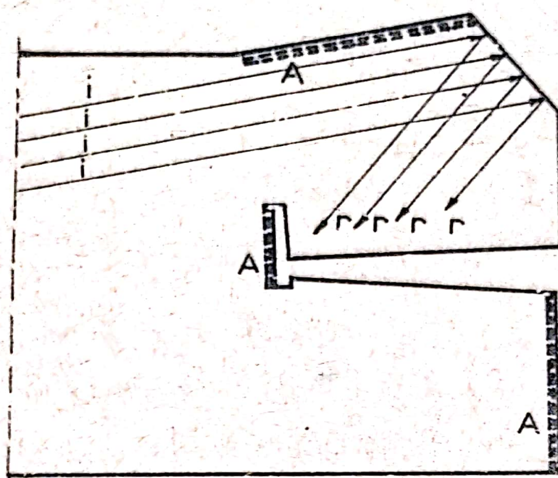


Fig.208. Dirijarea fluxului sonor la balcon.



Fig.209. Inclinarea pereţilor longitudinali

Pentru a asigura pătrunderea undelor sonore directe la spectatori este indicată supraînălţarea fotoliilor faţă de pardoseală.

La sălile de concert panta pardoselii se va lua cel puţin 8^0, la săli de conferinţe cel puţin 15^0.

Determinarea precisă a înclinării pardoselii este legată şi de vizibilitatea şi de uşurinţa evacuării sălii în caz de incendiu. Profilul pardoselii poate fi o spirală logaritmică, fig.210.

$$r = r_0 \cdot e^{\varphi_0 \cdot tg\theta} \qquad (375)$$

Panta pardoselii se poate determina cu ajutorul unei relaţii de recurenţă :

$$h_n = H_{n-1} + h - \frac{r(H-h_{n-1})}{s+(n-1)r} \qquad (376)$$

în care: (fig.211)

$$s = \frac{r}{h} \cdot H + r \qquad (377)$$



Fig.210. Profilul logaritmic al pardoselii sălilor de spectacole.

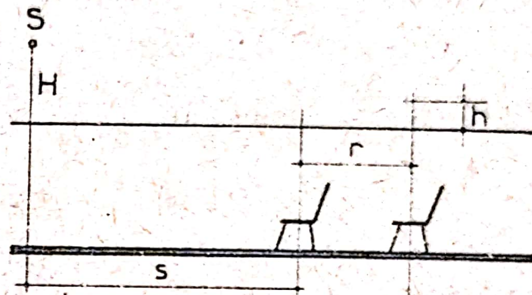


Fig.211. Supraînălţarea scaunelor în rînduri.

- H, înălţimea sursei sonore deasupra capetelor primului rînd de spectatori ;
- h, înălţimea liberă, care se ia 12 cm dacă fotoliile sînt spate în spate şi de 8 cm dacă fotoliile sînt decalate ;
- r, distanţa dintre două rînduri de fotolii adiacente (obişnuit o,9o m) ;
- s, distanţa, măsurată pe orizontală, dintre sursă şi primul rînd de fotolii.

Pentru a mări difuzivitatea cîmpului sonor al sălii se pot folosi structuri şi forme curbe ale pereţilor laterali, fig.212.

La săli de formă dreptunghiulară, cu lăţimea de ordinul 20 m, se poate produce ecoul pentru primele rînduri în urma reflexiei datorită pereţilor laterali, fig.213.

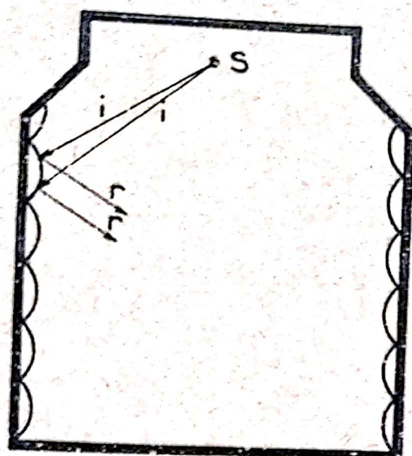


Fig.212. Suprafețe curbe reflectante aplicate pe pereți laterali.

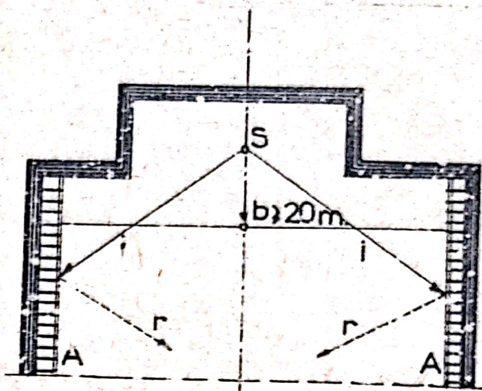


Fig.213. Evitarea reflexiei sunetului pe pereții laterali. A - absorbant acustic.

La calculul absorbției totale acustice a sălilor, în vederea determinării timpului real de reverberație, se au în vedere următoarele :

- absorbția spectatorilor, variază de la 0,33 pentru frecvențe joase la 0,46 pentru frecvențe înalte, de spectator ;

- materialele absorbante prezintă caracteristici diferite în funcție de structura lor fizică, greutatea specifică aparentă, greutatea pe m^2, concepția constructivă a structurii fonoabsorbante și frecvența sunetelor.

Absorbantul se distribuie neuniform pe pereți (fig.214) în vederea/asigurării difuzivității cîmpului sonor, iar tavanul se soluționează reflectant, în raport cu elementele determinate pe baza studiului geometrico-statistic al sălii.

O altă soluție privind realizarea unei difuzivități maxime a cîmpului sonor constă în crearea unor suprafețe convexe policilindrice în profilul pereților.

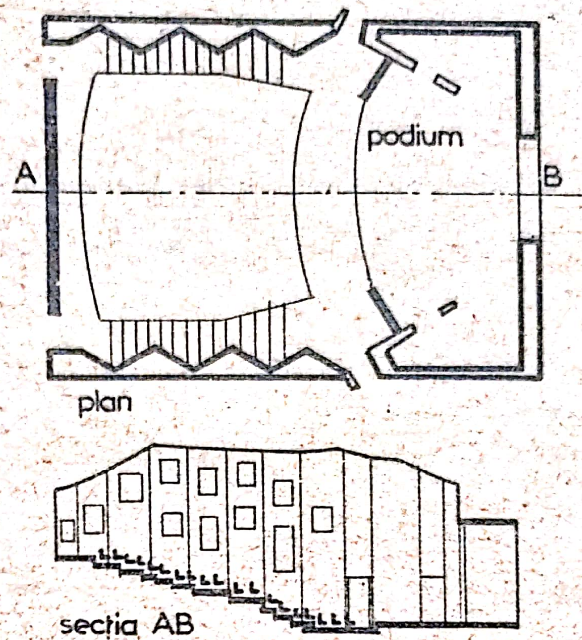


Fig.214. Repartizarea absorbantului fonic pe pereții longitudinali.

10.3. Structuri fonoabsorbante.

La alegerea materialelor și structurilor absorbante acustic se are în vedere valoarea globală a coeficientului α, variația absorbției cu frecvența sunetelor, fig.215 și influența alcătuirii constructive a structurii fonoabsorbante asupra amortizării sunetelor.

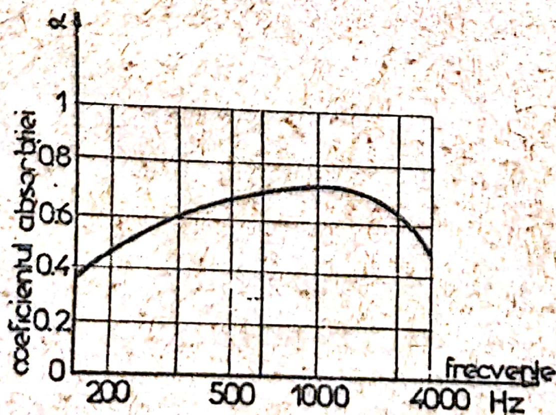


Fig.215. Coeficientul α pentru plăci fibrolemnoase.

La alegerea structurii fonoabsorbante a tratamentului acustic se are în vedere faptul că sunetele joase sînt la fel de dificil absorbite ca şi sunetele înalte. Materialele absorbante adoptate trebuie să nu fie strivite de vibraţii, să nu permită depuneri de praf şi să fie incombustibile.

In aprecierea calităţilor materialelor fonoabsorbante prezintă de asemenea interes cunoaşterea greutăţii specifice aparente, rezistenţa mecanică statică, durata de utilizare, posibilitatea de spălare, de pictare şi de desinfecţie.

Determinarea coeficientului de absorbţie α în laborator se face cu precizie de 2,5%, cu ajutorul tuburilor sonore Kundt, precum şi prin determinarea duratei de reverberaţie în camere de reverberaţie sau încăperi experimentale cu tratamente fonoabsorbante din materialele alese cu o suprafaţă de cel puţin 10 m^2, obţinîndu-se valori ale absorbţiei diferite cu + 40% faţă de valoarea reală.

Absorbanţii folosiţi în construcţii se pot clasifica astfel:

- absorbanţi poroşi cu schelet rigid ;
- absorbanţi poroşi cu schelet flexibil ;
- absorbanţi de tipul rezonatorilor Helmholtz ;
- plăci fonoabsorbante perforate ;
- membrane vibrante.

Absorbanţii poroşi cu scheletul rigid sînt alcătuiţi din materiale ale căror pori nu suferă deformaţii sub acţiunea undelor sonore. In această categorie intră tencuielile poroase, plăcile din vată minerală, fibre vegetale sau minerale rigidizate cu liant.

Absorbţia sunetelor la aceste materiale se datoreşte frecării particulelor de aer între ele şi cu pereţii porilor. Cu

aceste materiale se poate crea un strat poros la suprafaţa oricărui perete. Energia sonoră este absorbită, transformată în căldură şi împrăştiată în atmosferă. Gradul de absorbţie depinde şi de grosimea stratului. La Fabrica Berceni din ţara noastră se fabrică plăci fonoabsorbante din vată minerală de 60.60.2 cm, cu suprafaţa netedă, neregulată sau perforată, fig.216 avînd valorile coeficientului α, astfel:

f = 200 Hz, α =0,10

f = 400 Hz, α =0,45

f = 800 Hz, α =0.9

f = 1600 Hz, α =1,1

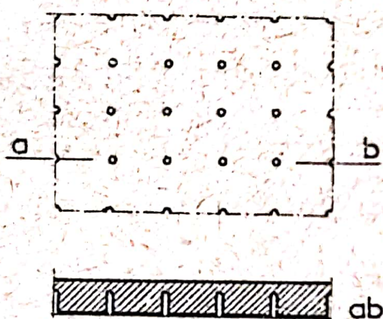


Fig.216. Plăci fonoabsorbante perforate.

Dintre tipurile de tencuieli absorbante se menţionează tencuielile pe bază de ipsos granulat, a căror acţiune absorbantă creşte cu grosimea stratului.

Montarea materialelor poroase pe schelete rigide, distanţate de un perete masiv, îmbunătăţeşte absorbţia acustică pentru frecvenţele joase.

Absorbanţii poroşi cu schelet flexibil sînt alcătuiţi din materiale moi ca vata de sticlă, vata de zgură, pîsla, masele poroase, saltele, draperii, covoare. Coeficientul de absorbţie prezintă valori între 0,53 şi 0,95, depinde de grosime (1.10 cm), greutate şi frecvenţă fig.217.

In ţara noastră se pot folosi plăci din vată minerală tratată cu răşină sintetică, avînd ℓ = 1,20 m ; b = 66 cm, δ = 1 - 10 cm, δ = 50...60 Kg/m^3 sau fîşii din vată minerală pe suport de hîrtie cu ℓ = 3...5 m , b = 1,20 m, ς = 20...160 Kg/m^3 şi coeficient de absorbţie acustică α = 0,8...1, la 5 cm grosime şi f = 200 Hz.

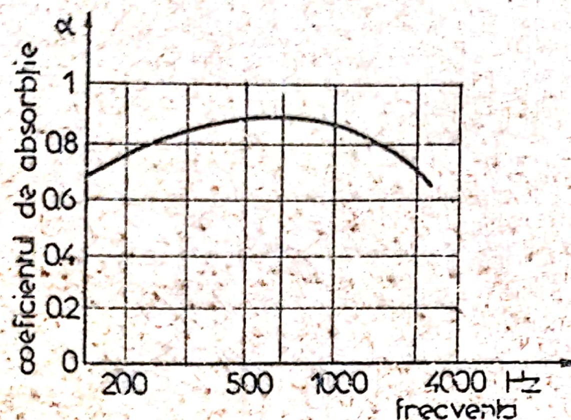


Fig.217. Coeficientul α de absorbție la materiale moi.

Se montează sub formă de saltele fixate cu rețele metalice ce se acoperă cu stofe decorative, plăci de fibrociment sau plăci de ipsos, perforate.

Absorbanții de tipul rezonatorilor Helmholz au fost folosiți încă în acustica greacă și romană ca un mijloc de a produce artificial reverberație în aer liber.

Vitruvius arată că rezonatorii erau așezați sub scaunele spectatorilor, după ce se acordau pe diferite frecvențe.

In principiu, un rezonator constă dintr-o cavitate situată într-un perete rigid, legată cu exteriorul printr-un canal sau cheson acustic de lemn rigid, fixat de tavan, fig.218.

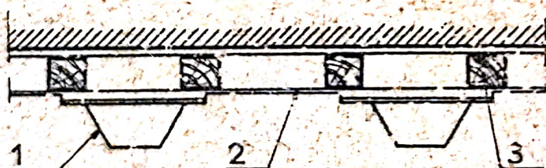


Fig.218. Rezonator Helmholz.
1-cheson acustic; 2-placă de absorbție;
3- grinzi auxiliare

Plafonul fonoabsorbant se mai poate realiza din cavități de dimensiuni diferite prevăzute în beton sau din blocuri cu găuri perforate, ce leagă cavitatea de exterior în zidării, fig.219, dimensionate la diferite frecvențe.

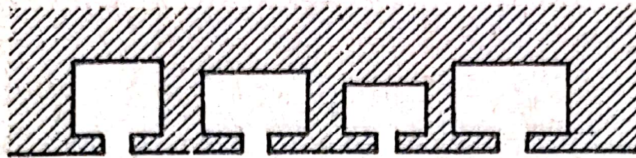


Fig.219. Rezonatori din blocuri cu găuri perforate.

Frecvența de rezonanță se calculează cu relația:

$$f_{rez} = 5500 \cdot \frac{S}{(v \cdot V)^{\frac{1}{2}}} \qquad (373)$$

în care:

- V, volumul nișei în cm^3;
- v, volumul chesonului, în cm^3;
- S, secțiunea transversală, în cm^2.

Se pot realiza ușor rezonatori cu $V = 1\ dm^3$ având $\alpha = 0,5\ m^2$ la frecvențe joase, sub 500 Hz.

La frecvențe înalte gîturile rezonatorilor se formează prin perforarea unor plăci (membrane). In spatele plăcii se prevede un strat de material care lasă să treacă aerul, fig.220.

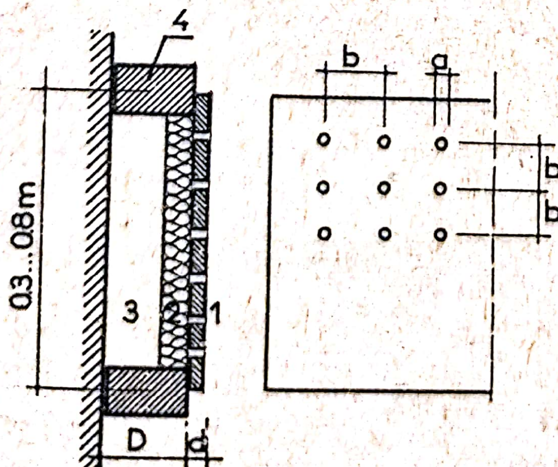


Fig.220. Plăci perforate fonoabsorbante.
1- placă perforată; 2- material fonoabsorbant; 3- aer ; 4 - schelet.

recvenţa de rezonanţă se calculează cu relaţia :

$$f_{rez} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{d_{ef} \cdot D}} \qquad (378)$$

în care:

$$d_{ef} = d + \frac{\pi}{4} \cdot a \qquad (379)$$

- d, grosimea plăcii în cm ;
- a, diametrul găurii, în cm, maxim 0,5 cm ;
- D, distanţa între membrană şi perete, în cm ;
- $\mathcal{E}$, coeficient de perforaţie.

Distanţa b între orificii se recomandă a se lua mai mare de 2 cm.

Structurile fonoabsorbante perforate de tip a, fig.221 sînt indicate la micşorarea zgomotului în birouri, structura de tip b, poate fi folosită prin selecţionarea frecvenţelor de rezonanţă, iar structura de tip c, este utilă la corecţii acustice ale sălilor. Alegerea plăcii şi a modului de fixare, permit să se obţină o serie de efecte şi rezultate foarte utile. Folosind tolă perforată de aluminiu sau oţel foarte subţire, diametrul găurilor poate coborî la 1,5 mm, obţinîndu-se absorbţie maximă la frecvenţe înalte fig.222.

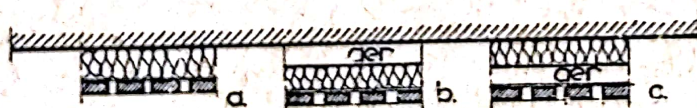


Fig.221. Tipuri de structuri fonoabsorbante perforate

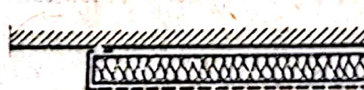


Fig.222. Plăci fonoabsorbante cu tolă perforată

La frecvenţe joase se pot folosi plăci subţiri şi elastice aplicate la cîţiva centimetri de perete, fig. 223, care separate prin stratul de aer faţă de perete, contribuie la absorbţia convenabilă a sunetului. Conform diagramei din fig.224, absorbţia sunetului la membrane elastice descreşte o dată cu creşterea frecvenţei.

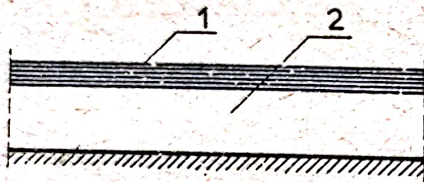


Fig.223. Membrane elastice fonoabsorbante. 1 placă elastică; 2- aer.

Structurile absorbante, alcătuite din panouri de placaj de 4 mm grosime perforate, cu găuri circulare cu d = 3,5 mm şi distanţate între centre cu 12,5 mm, aplicate pe o masă poroasă de 35 mm grosime se folosesc curent la tratamente fonoabsorbante în construcţii în ţara noastră.

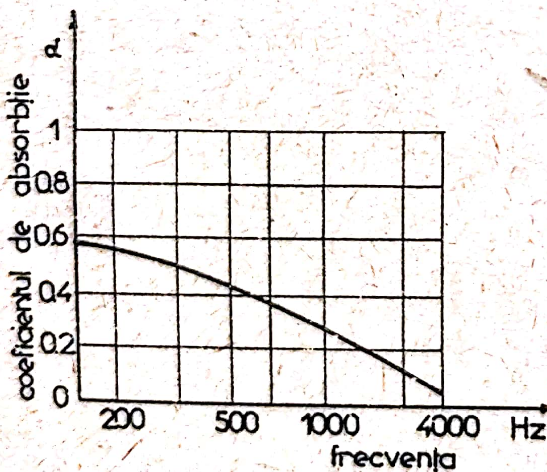


Fig.224. Variaţia absorbţiei sunetului la membrane elastice în funcţie de frecvenţă.

In cadrul Catedrei de construcţii de la Institutul Politehnic Iaşi s-a studiat pe cale experimentală durata de reverberaţie a sălii Casei de cultură a Consiliului Popular al Judeţului Bacău. In fig.225 se prezintă poziţia punctelor 1,2... ...,6 de emisie pe scenă şi a punctelor A, B.....,L de recepţie din sală. In tabelul 20 şi graficul din fig.226, se prezintă valorile medii ale duratei efective de reverberaţie, pentru domeniul de frecvenţe 125...4000 Hz, determinate pe cale experimentală. Valorile măsurate experimental sînt cuprinse între

2,o şi 1,05 secunde faţă de valorile 1,2...1,5 s, calculate de proiectanţi cu relaţia lui Sabine şi prezentate în tabelul 21.

Tabelul 20.

Durata de reverberaţie determinată experimental

(sala goală) şi corectată (sala ocupată)

Frecvenţa		Hz	125	25o	5oo	1ooo	2ooo	4ooo
Durata de reverberaţie experimentală		s	2,18	2,30	2,28	2,33	2,12	1,58
Absorbţia determinată		m^2	3o1	285	287	281	3o9	415
Absorbţia suplimentară	machetă	m^2	18	27	5o	73	91	114
	persoane	m^2	8	-	128	112	96	-
Absorbţia totală		m^2	327	312	465	466	496	529
Durata de reverberaţie efectivă (corectată)		s	2,oo	2,1o	1,41	1,40	1,32	1,o5
Idem, prevăzută de proiectant		s	1,5	1,26	1,2o	1,23	1,3o	1,37

Tabelul 21.

Durata de reverberaţie pentru " Casa de cultură Bacău"

(Calculul absorbţiei pe baza relaţiei Sabine)

	Suprafaţă m^2	Frecvenţa Hz 125	25o	5oo	1ooo	2000	4000
Plafon mozaic	530	$\frac{0,01}{5,3}$	$\frac{0,01}{5,3}$	$\frac{0,015}{8,0}$	$\frac{0,016}{8,5}$	$\frac{0,018}{9,5}$	$\frac{0,02}{10,6}$
Pardoseală P V C	530	$\frac{0,02}{10,6}$	$\frac{0,02}{10,6}$	$\frac{0,027}{14,3}$	$\frac{0,038}{15,9}$	$\frac{0,038}{20,2}$	$\frac{0,048}{25,5}$
Perete fund sală-placaj	86	$\frac{0,51}{44}$	$\frac{0,37}{31,8}$	$\frac{0,21}{18}$	$\frac{0,10}{8,6}$	$\frac{0,10}{8,6}$	$\frac{0,11}{9,4}$

Continuare tabelul 21

Suprafață m^2		Frecvența Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
Perete fără placaj	105	$\frac{0,51}{53,3}$	$\frac{0,37}{39}$	$\frac{0,21}{22}$	$\frac{0,10}{10,5}$	$\frac{0,10}{10,5}$	$\frac{0,11}{11,6}$
Perete lateral-placaj	392	$\frac{0,51}{200}$	$\frac{0,37}{145}$	$\frac{0,21}{84}$	$\frac{0,10}{39}$	$\frac{0,10}{39}$	$\frac{0,11}{43}$

Diferențele între valorile experimentale medii ale duratei de reverberație față de valorile calculate de proiectant, se explică prin aceea că determinările experimentale s-au făcut și cu sala goală (curba A), iar valorile antecalculate de proiectant, pentru sala ocupată.

Fig.225. Determinarea experimentală a duratei de reverberaţie la Casa de Cultură din Bacău. Poziţia punctelor de emisie şi recepţie din sală.

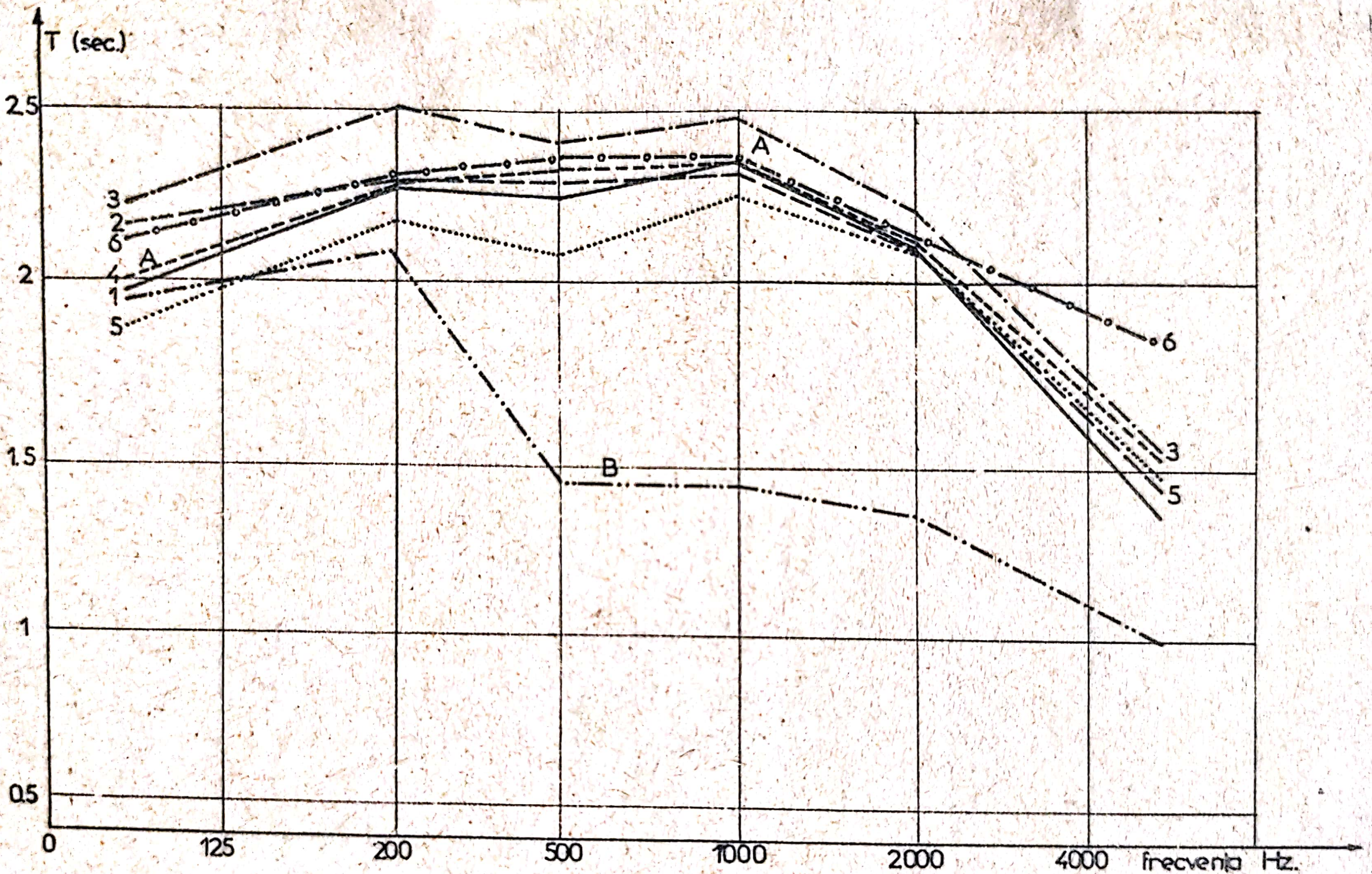


Fig.226. Durata medie de reverberaţie a sălii. Curbe experimentale A (sala goală). Curba calculată B (sala ocupată).

11. Similitudinea şi modelarea în acustică.

11.1. Consideraţii teoretice.

Pentru studierea în laborator a fenomenelor acustice din construcţii este posibilă folosirea modelelor bazate pe legile analogiei şi similitudinii. Modelarea acustică se poate referi la procesele de propagare a zgomotelor (modelarea încăperilor, a tratamentelor fonoabsorbante) şi a surselor de sunet sau zgomot (zgomote aerodinamice, mecanice .). Ecuaţia diferenţială a cîmpului acustic, în aer sau lichid, se prezintă sub forma :

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \qquad (380)$$

în care:

- φ, funcţia potenţial de viteză, în m^2/s ;
- c, viteza sunetului, în m/s ;
- t, timpul, în s ;
- x,y,z, coordonate spaţiale ;

Condiţiile de univocitate ale ecuaţiei cinematice (380) care cuprinde două mărimi cu dimensiuni independente (viteza, spaţiul), se referă la :

- caracterizarea spaţiului, în care se studiază procesul acustic;
- mărimea vitezei;
- condiţiile limită ;
- condiţiile iniţiale.

Condiţiile la limită se referă la suprafaţa corpului sonor, suprafaţa receptoarelor de sunet şi se prescriu ca valori ale componentei normale a vitezei de oscilaţie v_n sau a presiunii acustice variabile p sau a relaţiilor complexe $Z = \frac{p}{v_n}$, a

impedanţelor pe suprafeţele de absorbţie şi radiaţiei, care depind de frecvenţă şi unghiul de incidenţă a sunetului. Dacă drept scări ale vitezei şi dimensiunile liniare se adoptă viteza sunetului C şi lungimea de undă λ, ecuaţia cîmpului acustic, sub forma adimensională se prezintă astfel:

$$\frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{t}^2} = \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{z}^2} \qquad (381)$$

în care:

- $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, coordonatele adimensionale, definite de relaţiile :

$$\bar{x} = \frac{x}{\lambda}, \quad \bar{y} = \frac{y}{\lambda}, \quad \bar{z} = \frac{z}{\lambda} \qquad (382)$$

$\bar{\varphi}$, potenţialul adimensional, definit de expresia :

$$\bar{\varphi} = \frac{\varphi}{c\lambda} \qquad (383)$$

- $\bar{t}$, timpul adimensional, exprimat de relaţia :

$$\bar{t} = \frac{tc}{\lambda} = t.f \qquad (384)$$

- f, frecvenţa sunetului.

Presiunea acustică adimensională $\bar{p}$, viteza de oscilaţie adimensională $\bar{v}$ şi impedanţa acustică adimensională $\bar{z}$, sînt date de expresiile :

$$\bar{p} = \frac{p}{\varrho_o C^2} \; ; \; \bar{v} = \frac{v}{c} \; ; \; \bar{z} = \frac{\bar{p}}{\bar{v}} = \frac{p}{v} \cdot \frac{1}{\varrho_o C} = \frac{z}{\varrho_o C} \qquad (385)$$

Relaţiile de similitudine acustică precizate mai sus permit stabilirea următoarelor principii privind modelarea acustică în construcţii:

- respectarea analogiei acustice între original şi model, în faza de existenţă a cîmpului sonor ;

- păstrarea raportului dintre dimensiuni şi lungimea de undă, în original şi model, ceea ce presupune:

$$\frac{\ell_o}{\lambda_o} = \frac{\ell_m}{\lambda_m} \text{ sau } \frac{\ell_o t_o}{c_o} = \frac{\ell_m t_m}{c_m} \qquad (386)$$

Pentru cazul cînd mediul de propagare a sunetului în model şi original este acelaşi (de exemplu aerul), $c_o = c_m = c$ şi relaţia de mai sus este:

$$\frac{\ell_o}{\ell_m} = \frac{f_m}{f_o} \qquad (387)$$

adica frecvenţa în model este invers proporţională cu dimensiunile modelului. Respectarea acestei condiţii implică deci ca în model să fie folosite în anumite cazuri ultrasunete pentru cercetarea proceselor acustice din construcţii, ceea ce este condiţionat de aparatura de emisie, recepţie şi analiză spectrală adecuată.

Un al treilea principiu ce trebuie respectat în modelarea acustică rezultă din condiţia ca la frecvenţe similare între original şi model, trebuie ca impedanţele acustice ale suprafeţelor limită asemănătoare să fie identice :

$$\overline{Z}_o = \overline{Z}_m \text{, adică } f_m = \frac{\ell_o c_m}{\ell_m c_o} f_o \qquad (388)$$

11.2. Realizarea modelelor în acustică.

Pentru cercetarea mărimilor acustice caracteristice unor auditorii, săli, înainte de execuţie, se folosesc modele, deseori dificil de executat şi costisitoare, permiţînd a se obţine aspecte mai mult calitative decît cantitative privind acustica sălilor. După caracteristicile în spaţiu modelele pot fi spaţiale şi plane. Modelele spaţiale admit clasificarea:

- modele optice, utile pentru cercetări ale propagării frontului de undă a difuzivităţii şi a distribuţiei energiei sonore în partea utilă şi perturbatoare ;

- modele ultrasonore (ultraacustice) pentru cercetarea fenomenelor de ecran şi a difuzivităţii spaţiale ;

- modele electromagnetice pentru cercetarea modurilor proprii de vibraţie ale sălii.

Modelele plane pot fi:

- modele optice pentru urmărirea mersului undelor;

- modele cu impuls acustic pentru studierea unor aspecte particulare ale reflexiei şi difracţiei pe conturul sălii ;

- modele în cuvă cu apă pentru cercetări generale.

La toate modelele este de dorit ca scara modelului să fie corespunzătoare micşorării lungimii de undă, care este funcţie de modul de excitare sonoră a spaţiului.

La modelele optice lungimea undei acustice este de cca. $10^5 \ldots 10^7$ ori mai mare ca lungimea undelor luminoase vizibile ceea ce conduce la scări de ordinul 1:50. Procedeul constă în urmărirea traiectoriei razelor luminoase într-o secţiune oarecare, emiţînd un fascicol luminos îngust şi urmărind reflexiile acestuia pe conturul reflectant sau absorbant. Suprafeţele reflectante acustic se realizează în model din straturi metalice reflectante şi se măsoară gradul de înegrire a hîrtiei fotografice, dispusă în locul scaunelor care va fi funcţie de energia reflectată. Difuzivitatea sonoră în model se poate studia cu ajutorul unui cub cu două orificii diametral opuse avînd în interior o hîrtie fotosensibilă pe ambele părţi. Dacă modelul este rotit în diferite direcţii, gradul de înnegrire al hîrtiei indică incidenţa razelor din direcţiile respective.

Modelele ultraacustice se realizează la o scară care cu un magnetofon cu viteză mare, de exemplu v = 76 cm/s şi reda apoi cu o viteză micşorată la scara modelului. Rezultatele obţinute

din model, la frecvențe ultrasonore, sînt identice cu cele la scara reală pentru frecvențele obișnuite. Cu aceste modele se studiază problemele de difuzivitate și de ecou în săli și deci caracteristicile de reverberație.

Folosirea unor modele la scara 1:10 permite vizualizarea directă a arhitecturii interioare a sălilor. Utilizarea modelelor ultrasonore este condiționată de aparatură adecvată, (generator, amplificator și analizor de ultrasunete).

Modelele bazate pe impuls sonor implică folosirea unei secțiuni plane ce reprezintă conturul sălii respective executat din material reflectant sau absorbant optic. Declanșînd o scînteie la locul de emisie, se va putea fotografia un front de undă determinat de frontul undei de șoc. Fotografierea se face foarte rapid, încît succesiv se poate urmări propagarea acestui front de undă ceea ce permite studierea fenomenelor de reflexie și difracție la scara modelului 1:200.

BIBLIOGRAFIE

1. Academia Republicii Socialiste România, Comisia de acustică. Combaterea zgomotelor şi vibraţiilor .Vol.I-IV. Referate şi comunicări prezentate la a II-a Consfătuire organizată în Bucureşti, 14 - 16 noiembrie, 1963.
2. BADARAU, E. GRUMAZESCU M. - Bazele acusticii moderne.Bucureşti. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1961.
3. BRUCKMAYER, F. - Handbuch der Schalltechnik im Hochbau. Shall - Lärm - Erschatterungsschutz, Raumakustik. Franz Deuticke, Wien, 1962.
4. BERANEK L.L. - Acustics.Ed.Mc. Graw Hill,New York, 1954.
5. BERANEK, L.L.,PETERSON, G.P.A. - Handbook of noise measurement of vibration, U.S.A. General Radio Company, Massachussets, 1956.
6. DUNDICI, E.I., CONSTANTINOV V.,REUSOVA A.V. - Laboratorii praktikum postroitelnoi fizike ograjdatuscih konstrukţii zdanii Izd.Harkovskogo Universiteta,1962.
7. EICHLER, F. - Schallschutz im Bauwesen.VEB Verlag Technik, Berlin,1959.
8. EICHLER,F. - Schall im Hochbau.Bau und Raumakustik Verlag Technik, Berlin,1952.
9. FOCSA V., ş.a. - Zum äusseren Lärm pegel und dessen Verminderungsmassnahmen, Bul. I.P.Iaşi, Tom XIV (XVIII), fasc. 1-2, 1968.
10. FOCSA V.,RADU A., - Indrumar pentru lucrări de laborator. Clădiri civile şi Construcţii industriale.

11. FURRER, F. - Raum-und Bauakustik fur Architekten, Basel, 1956.

12. GRUMAZESCU M.,STAN, A, WEGNER, N., MARINESCU V. - Combaterea zgomotelor şi vibraţiilor, Bucureşti Editura tehnică 1964.

13. GRUMAZESCU M. - Măsurători acustice în construcţii. Bucureşti, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1960.

14. IUDIN, IA.E., - Izolarea împotriva zgomotelor, traducere din limba rusă, E.T., Bucureşti,1968.

15. LEHMAN, R. - Le colloque international sur le bruit. Isolation et Rsvêtements nr.2o,1959.

16. NECSULEA A. - Bazele acusticii clădirilor.Bucureşti, Editura Academiei Republicii Socialiste România,196o.

17. RAES, C.A., - Isolation sonore et acoustique architecturale, Editions Chiron, Paris,1964.

18. SLAVIN, I.I. - Zgomotul industrial şi combaterea lui (traducere din l.rusă).Bucureşti, Editura tehnică,1957.

19. WEGENER, N - Elemente de proiectare acustică în construcţii. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1960.

20. ZABOROV, V.T. - Teoric zvukoizolaţii ograjdaiuşcih construkţii Gosstroizdat, Moskva,1962.

21. D.I.N.41o9. - 41o9.Schallschutz im Hochbau.

22. D.I.N.52.21o. - Luftchalldämmung und Trittschallstärke, Bestimmung am Bauwerk und im Laboratorium.

23. I.S.O./R 131 - Exprimarea intensităţii fizice şi subiective a unui sunet sau a unui zgomot. " Standardizarea" nr.5/61.

24. I.S.O./R 14o - Măsurarea la faţa locului şi în laborator a transmisiei sunetelor, zgomote-

lor aeriene, a zgomotelor de şoc. „Standardizarea", nr.8,1961.

25. STAS 1957 - 60 - Acustica. Terminologie, simboluri şi unităţi de măsură.

26. STAS 6156-68 - Acustica în construcţii.Protecţia zgomotului în clădiri civile.

27. STAS 6161-60, - Metode pentru măsurarea zgomotului în construcţii civile.

28. STAS 6691-63 - Metode pentru măsurarea duratei de reverberaţie.

29. STAS 6451-61 - Exprimarea mărimii fizice şi a mărimii fiziologice a sunetelor şi a zgomotelor.

30. STAS 7150-60 - Metode pentru măsurarea zgomotului în industrie.

TABLA DE MATERII

Cap. I. HIGROTERMICA

Capitolul II